



TESIS -TE142599

# **PENGATURAN SUHU PADA SISTEM OVEN GAS MENGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA DAN *FUZZY LOGIC***

ALI RIZAL CHAIDIR  
2213204012

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT  
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS -TE142599

# CONTROL TEMPERATURE OVEN GAS SYSTEM USING IMAGE PROCESSING AND FUZZY LOGIC

ALI RIZAL CHAIDIR  
2213204012

SUPERVISOR  
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT  
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D

MAGISTER PROGRAM  
FIELD IN ELECTRONICS  
ELECTRICAL DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:  
Ali Rizal Chaidir  
Nrp. 2213204012**

**Tanggal Ujian : 23 Juni 2015  
Periode Wisuda : September 2015**

**Disetujui oleh:**

  
**1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
NIP: 19690426 199403 1 003**

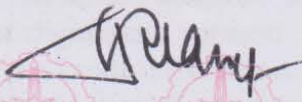
**(Pembimbing I)**

  
**2. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.  
NIP: 19810118 200312 1 003**

**(Pembimbing II)**

  
**3. Ir. Djoko Purwanto, M. Eng., Ph.D.  
NIP: 19651211 199002 1 002**

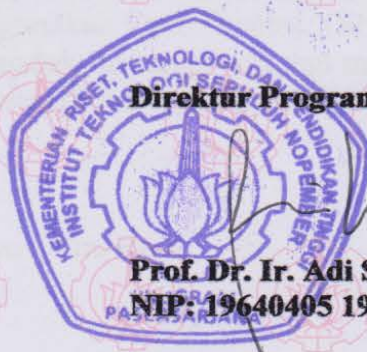
**(Penguji)**

  
**4. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.  
NIP: 19700212 199512 1 001**

**(Penguji)**

  
**5. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 19710314 199702 1 001**

**(Penguji)**



**Direktur Program Pascasarjana,**

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP: 19640405 199002 1 001**

# **PENGATURAN SUHU PADA SISTEM OVEN GAS MENGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA DAN *FUZZY* *LOGIC***

Nama Mahasiswa : Ali Rizal Chaidir  
NRP : 2213204012  
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRAK**

Dalam proses pemanggangan, suhu oven sangat mempengaruhi kualitas roti. Warna, kerak, volume, dan juga spons di dalam roti adalah parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas roti. Sistem oven konvensional tidak memiliki kontrol suhu, sehingga memungkinkan hasil pemanggangan roti menjadi hangus. Untuk menghindari ketidaktepatan dalam pemberian suhu terhadap proses pemanggangan roti, maka pada penelitian ini menggunakan *fuzzy logic* dan pengolahan citra. *Fuzzy logic* digunakan sebagai pengambil keputusan untuk menentukan *setpoint* suhu udara oven. Pengolahan citra digunakan untuk mendapatkan parameter grayscale dan lebar roti selama pemanggangan. Kedua parameter tersebut diambil secara *realtime* menggunakan *web cam* yang selanjutnya digunakan sebagai input *fuzzy logic*. Proses pengaturan motor servo menggunakan kontrol PI. Adonan roti menggunakan tepung terigu 125 g, mentega 25 g, air 3 sendok makan, susu 1 sendok makan, gula 25 g, ragi roti 0,5 sendok makan, dan 1 butir telur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem oven yang menggunakan kontrol suhu mampu memberikan hasil akhir pemanggangan lebih baik dibandingkan ketika tidak menggunakan kontrol suhu. Lebar roti bertambah 17.86 % dari keadaan awal ketika tidak menggunakan kontrol suhu, sedangkan lebar roti bertambah 20-26 % dari keadaan awal ketika menggunakan kontrol suhu. Ketika tidak menggunakan kontrol suhu, bagian bawah roti terlihat lebih hangus dari pada ketika menggunakan kontrol suhu. Diharapkan penelitian ini mampu meningkatkan kualitas produk makanan roti dan mampu memberikan ide untuk pengembangan sistem otomasi dibidang industri makanan selanjutnya.

Kata Kunci : *Fuzzy Logic*, Pengolahan Citra, Roti.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CONTROL TEMPERATURE OVEN GAS SYSTEM USING IMAGE PROCESSING AND FUZZY LOGIC**

Name : Ali Rizal Chaidir  
Student Identity Number : 2213204012  
Supervisor : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D

## **ABSTRACT**

In the process of baking, air temperature oven affects the quality of bread. Color, crust, volume, and sponges are parameters that can be used for determining the quality of bread. Conventional oven system does not have temperature control, thus allowing results bread baking be over baked. To avoid it, the air temperature oven should be in control. This research, use fuzzy logic as decision makers for air temperature oven setpoint. Image processing is used to get the grayscale and width parameter data of bread baking. The parameters are input fuzzy logic that taken in real time using web cam. PI control used to adjust the angle servo motors. Bread dough samples were prepared using wheat flour 125 g, margarine 25 g, water 3 tablespoon, milk 1 tablespoon, dry yeast 0.5 tablespoon, sugar 25 g, and an egg. The experiment result shows the system with temperature control gives better baking than without temperature control. Width of bread increased 17.86 % from its initial state when without temperature control, whereas width of bread increased 21-26 % from its initial state when using temperature control. The bottom of bread is over baked when the oven system not using temperature control. Expected by this research can improve the quality of bakery food products and give an idea to the development automation system in the food industry.

Keywords : Bread, Fuzzy Logic, Image Processing

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas kasih sayang-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis yang berjudul “Pengaturan Suhu Pada Sistem Oven Gas Menggunakan Pengolahan Citra dan *Fuzzy Logic*” ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Jurusan Teknik Elektro bidang keahlian Elektronika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam proses penelitian sampai dengan penyusunan laporan ini tidak pernah lepas dari bantuan berbagai pihak. Maka dari itu, dengan ketulusan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan do’a dan dukungannya.
2. Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. dan Bapak Ronny Mardiyanto, S.T., M.T. Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan dan saran.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D selaku koordinator program Pasca Sarjana jurusan Teknik elektro.
5. Bapak Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku koordinator Bidang Studi Elektronika.
6. Rekan-rekan seperjuangan S2 Elektronika ITS yang telah memberikan bantuan berupa semangat, do’a, dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Rekan-rekan di lab-402 yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam menyelesaikan penelitian ini.

Tidak ada gading yang tak retak, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih belum sempurna. Menerima kritik dan saran yang membangun merupakan salah satu cara untuk menjadikan penelitian ini lebih baik dari sebelumnya. Oleh



karena itu, penulis akan sangat berterimakasih kepada pembaca yang memberikan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, Juli 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN.....                            | i    |
| ABSTRAK .....                                     | iii  |
| ABSTRACT .....                                    | v    |
| KATA PENGANTAR .....                              | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                  | ix   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                | xiii |
| DAFTAR TABEL .....                                | xvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                           | 1    |
| 1.1. Latar Belakang.....                          | 1    |
| 1.2. Perumusan Masalah .....                      | 3    |
| 1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....          | 3    |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....        | 5    |
| 2.1. Karakteristik Roti Selama Pemanggangan ..... | 5    |
| 2.1.1. Pengaruh Permukaan Oven pada Roti .....    | 5    |
| 2.1.2. Perubahan Kecoklatan Roti.....             | 8    |
| 2.1.3. Perubahan Volume Roti .....                | 9    |
| 2.2. Pengolahan Citra.....                        | 10   |
| 2.2.1. Ruang Warna HSV .....                      | 12   |
| 2.2.2. Filter Median .....                        | 12   |
| 2.3. Logika Fuzzy .....                           | 13   |
| 2.3.1. Fuzzifikasi .....                          | 13   |
| 2.3.2. Sistem Inferensi Fuzzy .....               | 15   |
| 2.3.3. Defuzzifikasi .....                        | 15   |
| 2.4. Kontrol PI.....                              | 16   |
| 2.4.1. Proporsional .....                         | 16   |
| 2.4.2. Integral .....                             | 17   |
| 2.5. Tuning PID.....                              | 17   |
| 2.6. Perpindahan Panas pada Oven Gas.....         | 18   |
| 2.7. Diagram <i>Fishbone</i> .....                | 22   |

|  |    |
|--|----|
| BAB 3 METODA PENELITIAN.....   | 23 |
| 3.1. Rancangan Penelitian.....   | 23 |
| 3.2. Studi Literatur.....  | 24 |
| 3.3. Rancangan Oven.....   | 24 |
| 3.4. Rancangan Sistem Keseluruhan.....   | 25 |
| 3.5. Menentukan Parameter Grayscale dan Lebar Roti .....                                 | 28 |
| 3.6. Menentukan Setpoint Suhu .....  | 33 |
| 3.7. Pengaturan Laju Aliran Gas .....  | 36 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....   | 41 |
| 4.1. Pengujian Pembacaan Nilai Rata-rata R,G,B, dan Grayscale .....                      | 42 |
| 4.1.1. Prosedur Pengujian .....  | 42 |
| 4.1.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 43 |
| 4.2. Pengujian Perhitungan Jumlah Piksel Lebar dan Panjang .....                         | 44 |
| 4.2.1. Prosedur Pengujian .....  | 44 |
| 4.2.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 45 |
| 4.3. Pengujian Konversi Jumlah Piksel Menjadi Satuan Milimeter.....                      | 45 |
| 4.3.1. Prosedur Pengujian .....  | 45 |
| 4.3.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 46 |
| 4.4. Pengujian Kontrol Cahaya.....   | 47 |
| 4.4.1. Prosedur Pengujian .....  | 47 |
| 4.4.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 48 |
| 4.5. Pengujian Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Pembacaan Lebar dan Grayscale Roti ..... | 52 |
| 4.5.1. Prosedur Pengujian .....  | 52 |
| 4.5.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 53 |
| 4.6. Pengujian Pembacaan Lebar dan Panjang Roti Selama Pemanggangan .                    | 54 |
| 4.6.1. Prosedur Pengujian .....  | 54 |
| 4.6.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 54 |
| 4.7. Pengujian Kontrol Proporsional dan Proporsional Integral .....                      | 55 |
| 4.7.1. Prosedur Pengujian .....  | 55 |
| 4.7.2. Hasil Pengujian dan Analisa .....   | 55 |

|                       |  |    |
|-----------------------|--|----|
| 4.8.                  | Pengujian Pemanggangan Roti Menggunakan Lampu Fluorescent .....                  | 59 |
| 4.8.1.                | Prosedur Pengujian .....   | 59 |
| 4.8.2.                | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 59 |
| 4.9.                  | Pengujian Pemanggangan Roti Menggunakan Lampu LED.....                           | 61 |
| 4.9.1.                | Prosedur Pengujian .....   | 61 |
| 4.9.2.                | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 62 |
| 4.10.                 | Pengujian Pemanggangan Roti dengan Berat 65 g .....                              | 64 |
| 4.10.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 64 |
| 4.10.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 64 |
| 4.11.                 | Pengujian Pemanggangan Roti dengan Berat 100 g .....                             | 70 |
| 4.11.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 70 |
| 4.11.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 70 |
| 4.12.                 | Pengujian Pemanggangan Roti dengan Berat 65 g Secara Paralel .....               | 71 |
| 4.12.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 71 |
| 4.12.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 71 |
| 4.13.                 | Pengujian Pemanggangan Roti Tawar yang Telah Dipanggang .....                    | 72 |
| 4.13.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 72 |
| 4.13.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 72 |
| 4.14.                 | Pengujian Konsistensi Parameter Internal dan Eksternal dari Roti .....           | 75 |
| 4.14.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 75 |
| 4.14.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 75 |
| 4.15.                 | Pengujian Perubahan Nilai Rerata Komponen R, G, B, dan Grayscale pada Roti ..... | 78 |
| 4.15.1.               | Prosedur Pengujian .....   | 78 |
| 4.15.2.               | Hasil Pengujian dan Analisa .....  | 78 |
| BAB 5 KESIMPULAN..... |  | 79 |
| 5.1.                  | Kesimpulan.....  | 79 |
| 5.2.                  | Saran .....  | 79 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  |  | 81 |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS |  |    |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Masing-Masing Kontrol PID .....                               | 16 |
| Tabel 2.1 Tuning PID Metode Ziegler-Nichols .....                                     | 18 |
| Tabel 3.1 Basis Aturan dari Pembacaan Perubahan Grayscale dan Lebar Roti....          | 35 |
| Tabel 4.1 Data Pengujian Kertas Berwarna dan Cahaya pada Citra .....                  | 43 |
| Tabel 4.2 Data Pengujian Ukuran Roti .....  | 46 |
| Tabel 4.3 Data Pengujian dari kontrol P .....   | 57 |
| Tabel 4.4 Data Pengujian dari kontrol PI.....   | 59 |
| Tabel 4.5 Data Hasil Pemanggangan Pengujian Roti dengan Berat 100 g .....             | 70 |
| Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Parameter Eksternal Roti Selama Pemanggangan .....     | 76 |
| Tabel 4.7 Data Suhu Oven Selama Terjadi Perubahan Parameter Grayscale dan Lebar ..... | 77 |
| Tabel 4.8 Data Parameter Internal Roti .....  | 77 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1.1 Skema dari Proses Pemanggang Roti di Industri .....   | 2  |
| Gambar 2.1 Profil Suhu Permukaan Roti pada Oven Dengan Warna Permukaan Hitam (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C ..... | 7  |
| Gambar 2.2 Profil Suhu Permukaan Roti Pada Oven Dengan Permukaan Mengkilat (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C .....   | 8  |
| Gambar 2.3 Perubahan Kecoklatan Roti, Sumbu X Merupakan Waktu Pemanggang dan Sumbu Y Merupakan Suhu pada Oven .....      | 9  |
| Gambar 2.4 Perubahan Volume Roti Selama Proses Pemanggang Dalam Microwave .....  | 10 |
| Gambar 2.5 Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga .....   | 14 |
| Gambar 2.6 Grafik Keanggotaan Kurva Bentuk Bahu .....  | 15 |
| Gambar 2.7 Metode Tuning Ziegler-Nichols 1 .....   | 17 |
| Gambar 2.8 Reaksi Sistem Open Loop Ketika Diberi Input Step .....  | 18 |
| Gambar 2.9 Ilustrasi Proses Terjadinya Konduksi .....  | 19 |
| Gambar 2.10 Ilustrasi Proses Terjadinya Konveksi .....   | 20 |
| Gambar 2.11 Ilustrasi Proses Perpindahan Panas pada Oven .....   | 21 |
| Gambar 2.12 Diagram <i>Fishbone</i> .....  | 22 |
| Gambar 3.1 Diagram Blok Tahap Pelaksanaan Penelitian .....   | 23 |
| Gambar 3.2 Sketsa Rancangan Oven .....   | 25 |
| Gambar 3.3 Sistem Keseluruhan .....  | 26 |
| Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Cahaya .....   | 27 |
| Gambar 3.5 Rangkaian Kontrol Cahaya .....  | 27 |
| Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> Kontrol Cahaya .....   | 28 |
| Gambar 3.7 Alur Diagram untuk Mendapatkan Parameter Grayscale dan Lebar Roti Selama Pemanggang .....                     | 29 |
| Gambar 3.8 Alur Diagram dari Logika Fuzzy untuk Mendapatkan Setpoint Suhu .....  | 33 |
| Gambar 3.9 Himpunan Fuzzy pada Variabel Perubahan Grayscale .....  | 34 |
| Gambar 3.10 Himpunan Fuzzy pada Variabel Perubahan Lebar .....   | 34 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.11 Himpunan Fuzzy pada Variabel Suhu .....  | 35 |
| Gambar 3.12 Alur Diagram untuk Mendapatkan Sudut Servo .....   | 36 |
| Gambar 3.13 Modul max6675 dan Sensor Thermocouple Type K.....  | 37 |
| Gambar 3.14 (a) Sudut servo 0°, (b) 58°, (c) 157° .....  | 37 |
| Gambar 4.1 (a) Desain Alat, (b) Oven Tampak Atas (Tanpa Kotak).....                                    | 41 |
| Gambar 4.2 Contoh Pengujian Pada Kertas Berwana Hijau .....  | 42 |
| Gambar 4.3 Pengujian Algoritma Pembacaan Jumlah Piksel .....   | 44 |
| Gambar 4.4 Contoh Pengujian Konversi Jumlah Piksel Menjadi Satuan Milimeter .....                      | 45 |
| Gambar 4.5 Contoh Proses Pengukuran pada Roti.....   | 46 |
| Gambar 4.6 Tempat Sensor Cahaya .....  | 48 |
| Gambar 4.7 Atap Kotak Dibuka Besar .....   | 48 |
| Gambar 4.8 Atap Kotak Dibuka Kecil.....  | 48 |
| Gambar 4.9 Pengukuran Nilai ADC Ketika Menggunakan 8 Bit .....   | 49 |
| Gambar 4.10 Pengukuran Nilai ADC Ketika Menggunakan 10 Bit.....  | 49 |
| Gambar 4.11 Respon Nilai ADC Ketika Atap Kotak Dibuka.....   | 50 |
| Gambar 4.12 Respon Perubahan Grayscale Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Tanpa Kontrol Cahaya .....      | 50 |
| Gambar 4.13 Respon Perubahan Lebar Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Tanpa Kontrol Cahaya.....           | 51 |
| Gambar 4.14 Respon Perubahan Grayscale Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Menggunakan Kontrol Cahaya..... | 51 |
| Gambar 4.15 Respon Perubahan Lebar Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Menggunakan Kontrol Cahaya.....     | 52 |
| Gambar 4.16 Respon Perubahan Grayscale Objek Besi Ketika Terjadi Perubahan Suhu .....                  | 53 |
| Gambar 4.17 Respon Perubahan Lebar Objek Besi Ketika Terjadi Perubahan Suhu .....                      | 54 |
| Gambar 4.18 Perubahan Lebar dan Panjang dari Roti.....   | 55 |
| Gambar 4.19 Grafik Kenaikan Suhu ketika Diberi Input Step.....   | 56 |
| Gambar 4.20 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 60° C Menggunakan Kontrol Proporsional.....           | 56 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.21 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 150° C Menggunakan Kontrol Proporsional.....                               | 57 |
| Gambar 4.22 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 190° C Menggunakan Kontrol Proporsional.....                               | 57 |
| Gambar 4.23 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 60° C Menggunakan Kontrol PI.....  | 58 |
| Gambar 4.24 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 150° C Menggunakan Kontrol PI.....   | 58 |
| Gambar 4.25 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 190° C Menggunakan Kontrol PI.....   | 58 |
| Gambar 4.26 Perubahan Grayscale Roti Selama Pemangangan Ketika Menggunakan Lamu Fluorescent Sebagai Penerangan .....        | 60 |
| Gambar 4.27 Perubahan Lebar Roti Selama Pemangganagn Ketika Menggunakan Lampu Fluorescent Sebagai Penerangan .....          | 60 |
| Gambar 4.28 Perubahan Sudut Servo Selama Pemangangan .....  | 61 |
| Gambar4.29 Perubahan Grayscale Roti Selama Pemangangan Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan.....                 | 62 |
| Gambar 4.30 Perubahan Lebar Roti Selama Pemangangan Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan.....                    | 63 |
| Gambar 4.31 Pengukuran Nilai ADC Sensor Cahaya Terhadap Perubahan Suhu Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan..... | 63 |
| Gambar 4.32 Perubahan Grayscale Roti Terhadap Suhu (Percobaan 1).....   | 64 |
| Gambar 4.33 Perubahan Grayscale Roti Terhadap Suhu (Percobaan 2).....   | 65 |
| Gambar 4.34 Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 1) .....  | 66 |
| Gambar 4.35 Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 2) .....  | 66 |
| Gambar 4.36 Perubahan Sudut Servo Terhadap Error Suhu (Percobaan 1) .....   | 67 |
| Gambar 4.37 Perubahan Sudut Servo Terhadap Error Suhu (Percobaan 2) .....   | 68 |
| Gambar 4.38 Perubahan Grayscale Roti Terhadap Suhu (Percobaan 3).....   | 68 |
| Gambar 4.39 Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 3) .....  | 69 |
| Gambar 4.40 Hasil Akhir Pemangangan Roti, (a) Percobaan Pertama, (b) Percobaan Kedua, (c) Percobaan Ketiga.....             | 69 |
| Gambar 4.41 Adonan .....  | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.42 Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Percobaan Pertama, (b) Percobaan Kedua .....                                 | 70 |
| Gambar 4.43 Posisi Adonan di Dalam Oven .....   | 71 |
| Gambar 4.44 Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Permukaan Roti, (b) Bagian Bawah Roti, (c) Posisi Adonan di Dalam Oven ..... | 72 |
| Gambar 4.45 Perubahan Grayscale Roti Tawar Terhadap Suhu .....  | 73 |
| Gambar 4.46 Perubahan Lebar Roti Tawar Terhadap Suhu.....   | 74 |
| Gambar 4.47 Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Hasil roti yang telah Dipanggang, (b) Roti tidak Dipanggang .....            | 74 |
| Gambar 4.48 Nilai Rerata dari Setiap Komponen Warna dan Grayscale Selama Pemanggangan Roti .....                            | 78 |

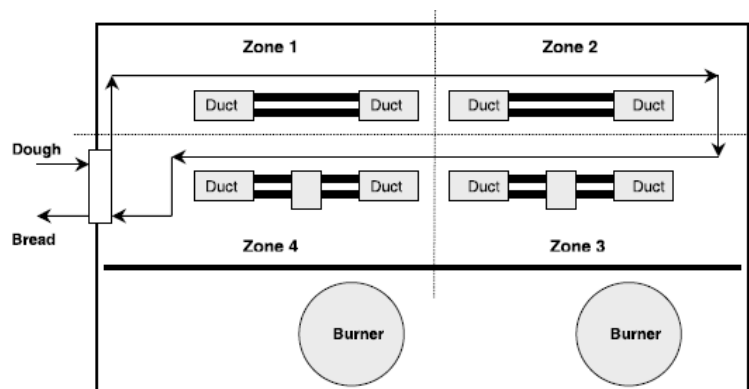
# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Teknologi dibutuhkan manusia untuk membantu melakukan kegiatannya. Dibidang industri makanan, teknologi sangat berperan untuk meningkatkan kualitas dan jumlah produksi. Didalam proses pemanggangan roti, suhu udara oven dan kesalahan manusia adalah salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil akhir dari proses pemanggangan. Dibutuhkan suatu sistem pemanggangan roti yang bersifat otomatis untuk merubah suhu udara oven agar kualitas akhir roti lebih baik dan memiliki hasil yang lebih konsisten.

### **1.1 Latar Belakang**

Roti merupakan salah satu makanan yang memiliki karbohidrat yang tinggi. Roti bisa dibuat dari beberapa bahan seperti terigu, air, garam, gula, telur, lemak dan susu, bahan pokok dari roti adalah terigu. Penilaian kualitas kematangan roti dapat dilakukan terhadap karakteristik eksternal (warna dan ukuran) dan internal (aroma dan rasa), perubahan warna roti dipengaruhi oleh adonan resep dan kondisi pengolahan seperti waktu, kecepatan udara, kelembaban relatif dan laju perpindahan panas (Ibrahim dkk, 2013), sedangkan oven gas konvensional tidak memiliki pengaturan suhu udara oven, sehingga dimungkinkan akan terjadi *over baked* pada roti, selain warna, parameter bentuk, volume, dan tekstur juga akan terjadi perubahan tergantung dari adonan, suhu, dan waktu (Singh dan Kaur, 2012). Penilaian kematangan roti dengan karakteristik eksternal secara manual akan mengakibatkan terjadinya perbedaan sudut pandang kematangan roti oleh pengamat yang satu dengan yang lainnya, selain itu kelelahan fisik dan pikiran dari seorang pengamat juga akan mempengaruhi penilaian dari tingkat kematangan roti. Dengan menggunakan komputer vision, pemeriksaan beragam makanan mentah dan olahan dapat dilakukan secara otomatis, objektif, cepat dan higienis (Brosnan dan Wen Sun, 2003).



Gambar 1.1 Skema dari Proses Pemanggang Roti Di Industri (Therdthai dkk, 2002)

Dalam proses memanggang roti di sebuah industri, dibutuhkan empat zona, gambar 1 adalah skema dari proses pemangganag roti di industri, dimana disetiap zona memiliki nilai suhu yang berbeda, suhu disetiap zona dikontrol agar konstan, roti bergerak dari zona satu menuju zona empat, zona empat adalah zona dimana roti sudah matang (Therdthai dkk, 2002). Dapat dikatakan bahwa dengan sistem tersebut diperlukan empat oven dengan suhu udara oven yang berbeda untuk proses memanggang roti. Selain memerlukan tempat yang lebih luas, sistem tersebut membutuhkan biaya lebih banyak dibandingkan jika menggunakan satu oven dan tidak ada sistem pemeriksaan secara otomatis. Untuk itu diperlukan sistem yang lebih praktis untuk menghemat tempat dan biaya, yaitu menggunakan satu oven dengan suhu yang dapat dikontrol dan komputer vision untuk memeriksa perubahan parameter roti.

Roti tawar merupakan jenis roti yang disukai karena masyarakat dapat menentukan sendiri pilihan rasa yang ditambahkan pada roti (Justicia dkk, 2012), sedangkan menurut Fitriyani pada tahun 2013, roti tawar adalah adonan yang terbuat dari adonan roti yang menggunakan sedikit atau tanpa gula, susu, dan lemak. Bahan pembuatan roti tawar adalah tepung terigu, garam, susu, margarin, ragi roti, dan gula (Satyaningtyas dan Estiasih, 2014). Parameter roti yaitu perubahan warna dan ukuran roti dipengaruhi oleh penggunaan ragi, susu, gula, dan telur. Ragi berfungsi untuk mengembangkan adonan, sedangkan susu, gula

dan telur berfungsi untuk merubah warna dari roti selama pemanggangan (Hadiyanto dkk, 2007).

Pada penelitian ini telah dikembangkan suatu sistem pemanggang roti dengan oven gas dengan memanfaatkan pengolahan citra dan logika fuzzy, roti yang berada di dalam oven gas akan di-*capture* menggunakan kamera *WEB-CAM* secara *realtime*, hasil pengambilan gambar tersebut akan diproses di dalam *personal computer*, perubahan warna dan lebar roti akan menentukan laju aliran dari gas yang digunakan sebagai bahan bakar kompor. Kombinasi dari perubahan warna dan lebar roti akan dijadikan masukan untuk sistem logika *fuzzy* untuk memutuskan seberapa besar laju aliran gas yang menentukan perubahan suhu pada oven.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Pada penelitian ini terdapat beberapa permasalahan yang harus diselesaikan, yaitu :

1. Mendesain oven gas agar kamera mampu meng-*capture* gambar roti
2. Implementasi pengolahan citra dalam proses mendapatkan parameter eksternal dari satu jenis roti selama pemanggangan
3. Menentukan setpoint suhu dengan memanfaatkan logika fuzzy berdasarkan karakter satu jenis roti selama pemanggangan
4. Merubah suhu udara oven dengan cara merubah laju aliran gas

## **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Parameter eksternal roti dapat diolah di dalam komputer
2. Memberikan informasi perubahan parameter grayscale dan lebar dari satu jenis roti selama pemanggangan
3. Merubah sudut putaran motor servo pengubah laju aliran gas
4. Mendapatkan hasil akhir roti yang lebih baik daripada ketika memanggang roti tanpa kontrol suhu oven.

Manfaat dari penelitian ini adalah menghasilkan sistem oven gas yang mampu mengatur suhu udara oven secara otomatis yang berdasarkan pada keadaan roti selama pemanggangan, sehingga dapat memberikan penilaian secara konsisten terhadap hasil akhir roti dan menghasilkan kualitas roti yang lebih baik daripada ketika roti dipanggang tanpa menggunakan kontrol suhu oven.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Diperlukan beberapa teori untuk mempermudah dalam proses pembuatan sistem. Sistem yang dibuat bertujuan untuk mendapatkan hasil pemanggangan roti yang lebih baik daripada ketika memanggang tanpa menggunakan kontrol suhu oven. Sehingga diperlukan pengetahuan tentang karakteristik roti selama pemanggangan, pengetahuan tentang pengolahan citra yang diperlukan untuk proses pengambilan data parameter warna dan lebar roti selama pemanggangan, pengetahuan tentang logika fuzzy yang digunakan sebagai pengambil keputusan setpoint suhu, dan kontrol PID tuning Ziegler-Nichols yang bertujuan untuk menentukan sudut servo, serta konsep dasar dari perpindahan panas pada sistem oven gas.

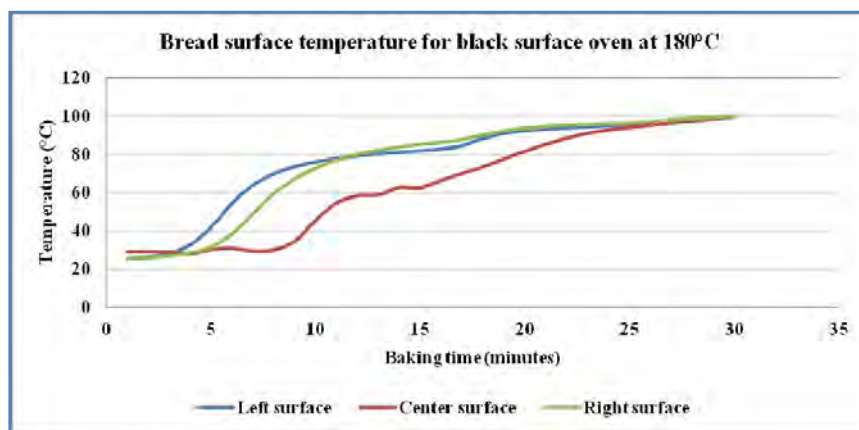
#### **2.1 Karakteristik Roti Selama Pemanggangan**

Suhu udara oven dan waktu pemanggangan mempengaruhi perubahan karakteristik roti seperti warna dan ukuran, permukaan oven memberikan pengaruh pada suhu udara oven.

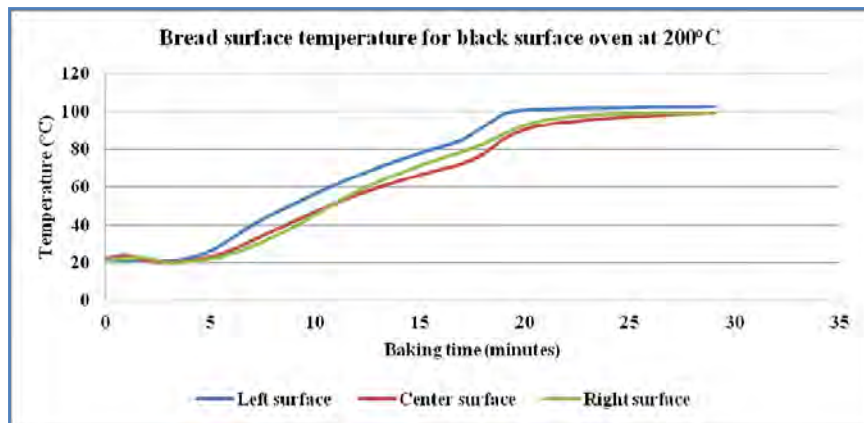
##### **2.1.1 Pengaruh Permukaan Oven pada Roti**

Penelitian yang dilakukan oleh Umami Kalthum Ibrahim dkk pada tahun 2013 menunjukkan bahwa suhu meningkat dari waktu ke waktu di tiga zona permukaan roti. Suhu di sebelah kiri, tengah, dan kanan permukaan roti meningkat secara bertahap dari 25° C (suhu kamar) sampai 100° C pada kedua jenis permukaan oven yaitu jenis oven dengan permukaan warna hitam dan mengkilap. Gambar 2.1 menunjukkan profil suhu permukaan roti pada oven dengan warna permukaan hitam (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C, dan Gambar 2.2 menunjukkan profil suhu permukaan roti pada oven dengan permukaan mengkilap (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C. Suhu di sebelah kiri permukaan roti meningkat lebih cepat dibandingkan dengan permukaan lain di oven dengan permukaan hitam pada suhu 180 dan 200° C, akan tetapi meningkat

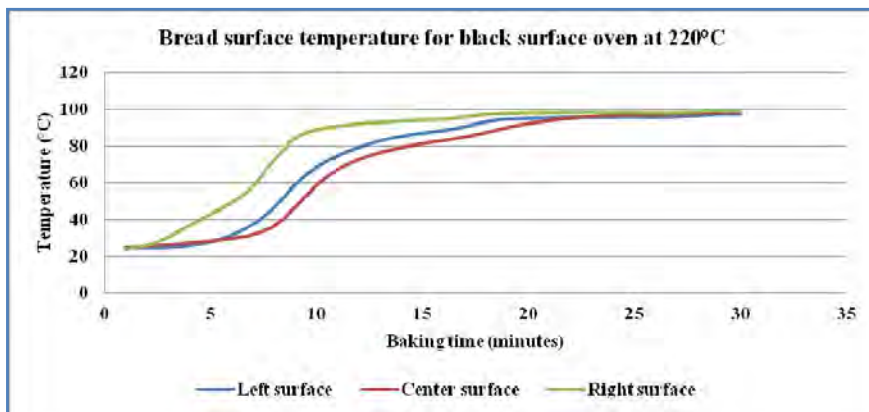
secara bertahap pada suhu  $220^{\circ}\text{C}$ . Namun pada oven dengan permukaan mengkilap, dapat dilihat bahwa suhu di pusat sisi permukaan roti selalu lebih tinggi dari sisi kiri dan kanan dari permukaan roti. Elemen pemanas untuk permukaan mengkilap pada oven terletak hanya di pusat dari oven dimana adonan ditempatkan. Oleh karena itu, pusat permukaan roti akan panas pertama lalu diikuti dengan permukaan lain selama proses pemanggangan. Waktu yang dibutuhkan untuk semua suhu permukaan roti untuk mencapai  $100^{\circ}\text{C}$  yang lebih pendek untuk oven dengan permukaan mengkilap (15 menit) dibandingkan dengan oven permukaan warna hitam (20 menit). Hal ini disebabkan permukaan mengkilap mencerminkan semua panas yang akan diserap oleh permukaan roti sedangkan oven dengan permukaan warna hitam menyerap sebagian panas. Oleh karena itu hanya sebagian dari panas akan diserap oleh permukaan roti dalam kasus oven dengan permukaan warna hitam. Suhu permukaan roti akan mencapai suhu konstan pada  $100\text{--}110^{\circ}\text{C}$ . ini kondisi yang terjadi pada kedua jenis oven. Keadaan mantab suhu akan dicapai sekitar 15-20 menit setelah pemanggangan dimulai.



(a)

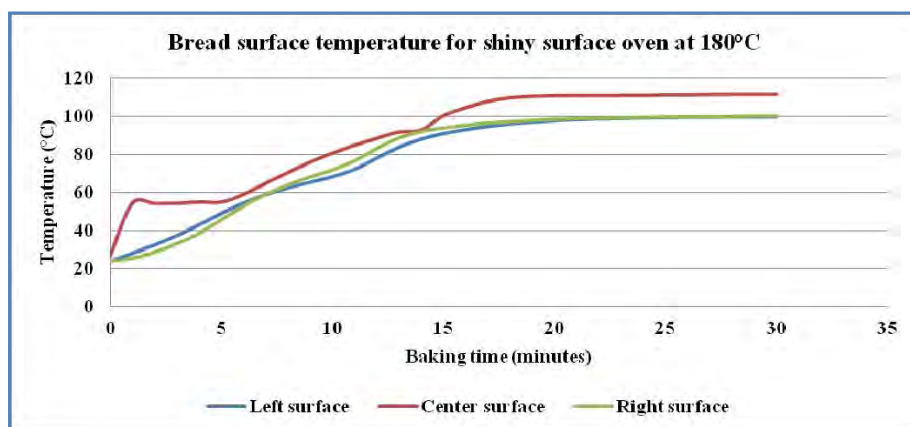


(b)

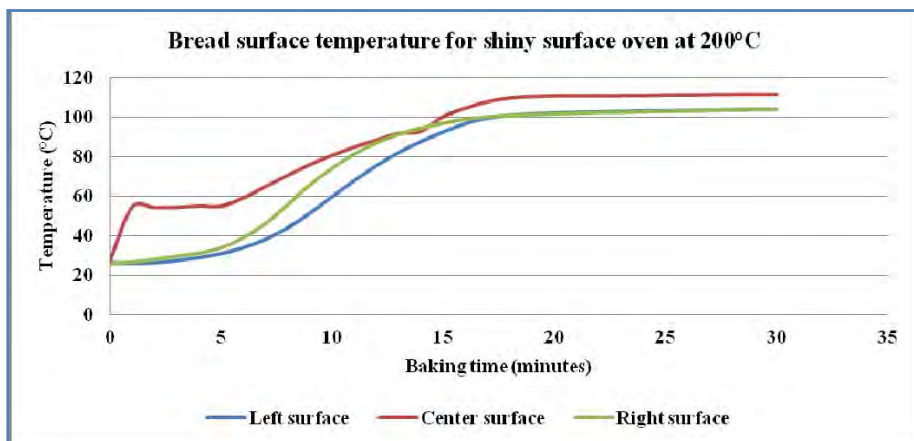


(c)

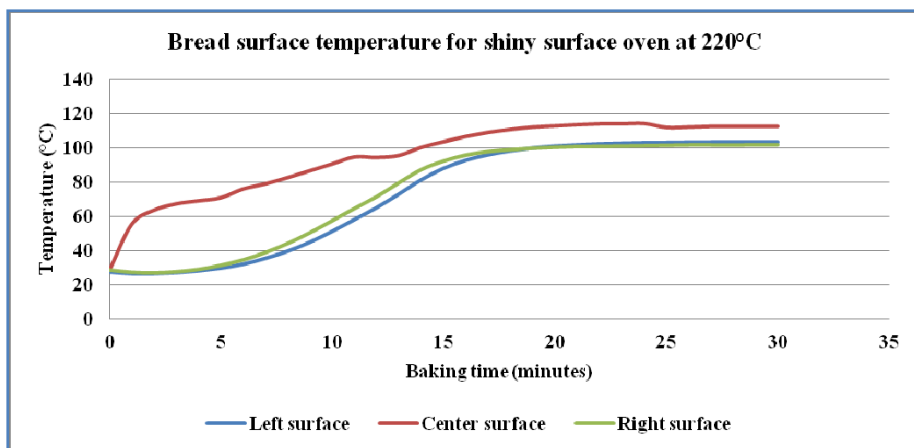
Gambar 2.1 Profil Suhu Permukaan Roti pada Oven dengan Warna Permukaan Hitam (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C (Umami Kalthum, 2013)



(a)



(b)

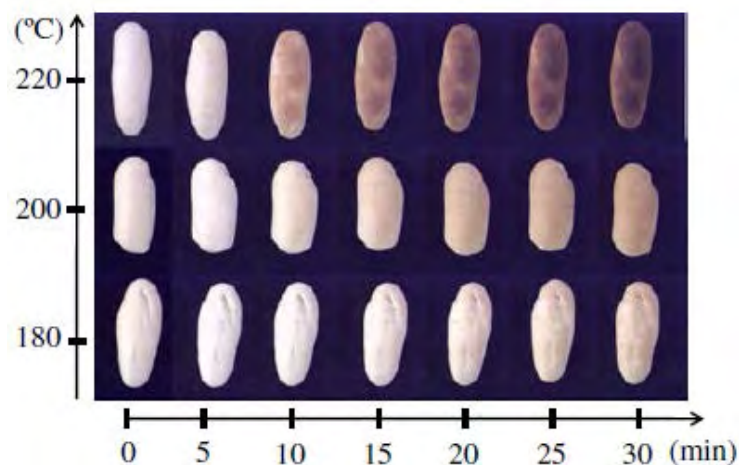


(c)

Gambar 2.2 Profil Suhu Permukaan Roti pada Oven dengan Permukaan Mengkilat (a) 180° C, (b) 200° C dan (c) 220° C (Ummi Kalthum, 2013)

### 2.1.2 Perubahan Kecoklatan Roti

Emmanuel Purlis dan Viviana O. Salvadori pada tahun 2009 menunjukkan pengembangan kecoklatan permukaan roti selama pemanggangan dapat dilakukan dengan pemeriksaan secara visual dari gambar yang diperoleh oleh sistem *Computer Vision*. Gambar 2.3 menunjukkan perubahan kecoklatan roti. Hal ini dapat dilihat bahwa warna intensitas sampel roti meningkat dengan waktu pemanggangan. Kecoklatan hanya akan terlihat sejak 10 menit ketika suhu pemanggangan pada oven 200 dan 220° C, dan sejak 15 menit untuk 180° C.



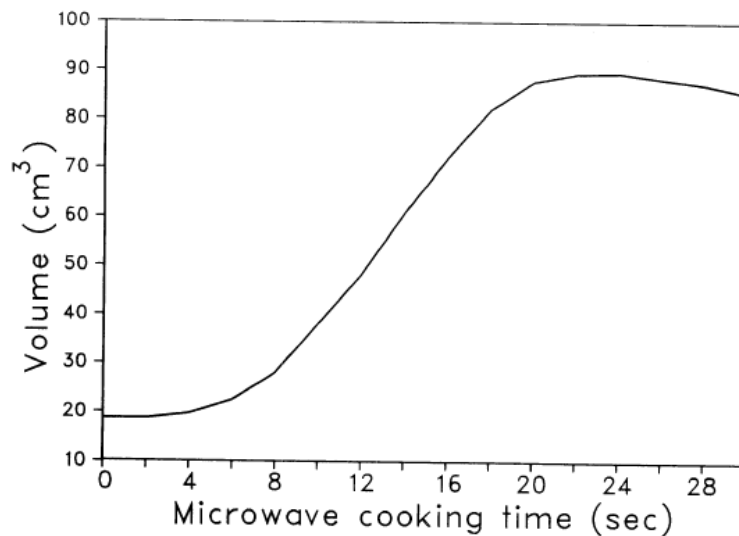
Gambar 2.3 Perubahan Kecoklatan Roti, Sumbu X Merupakan Waktu Pemanggangan dan Sumbu Y Merupakan Suhu pada Oven (Emmanuel Purlis, 2009)

Penggunaan suhu yang tinggi akan mempercepat proses perubahan warna pada roti. Ketika suhu berada di atas 120° C warna roti akan berubah secara signifikan (Purlis, 2014).

Sampel resep roti yang digunakan adalah menggunakan tepung terigu (100%), air (54,1%), garam (1,6%), gula (1,6%), margarin (1,6%), dan ragi kering (1,2%). Adonan dibuat dengan mencampur bahan selama 10 menit dengan cara mengaduk-aduk adonan dengan kecepatan konstan. Kemudian, setiap sampel dibentuk dari 100 g (bentuk silinder, panjang 0,1 m, dan diameter 0,04 m) dan ditempatkan dalam nampan berlubang. Sampel adonan dipanggang dalam oven listrik. Percobaan dilakukan dengan menggunakan tiga suhu oven konstan, yaitu 180, 200 dan 220° C.

### 2.1.3 Perubahan Volume Roti

Selain warna, parameter bentuk, volume, dan tekstur juga akan terjadi perubahan tergantung dari adonan, suhu, dan waktu, hal ini dapat dilihat dari penelitian yang dilakukan oleh Leon Levine dkk pada tahun 1990. Pada penelitian tersebut menunjukkan perubahan volume roti terhadap perubahan waktu pemanggangan. Perubahan volume roti selama pemanggangan dalam microwave ditunjukkan pada Gambar 2.4, karakter data volume roti didapatkan setiap 2 detik selama proses pemanggangan.



Gambar 2.4 Perubahan Volume Roti Selama Proses Pemanggangan didalam Microwave (Levine dkk, 1990)

Gambar digital selanjutnya dianalisis menggunakan sebuah algoritma, gambar yang didapat akan diinterpretasikan dengan cara dikonversi ke bentuk biner. Daerah proyeksi produk panggang diukur dengan menghitung jumlah piksel putih yang membentuk roti.

Peralatan yang digunakan untuk mengukur perubahan volume selama memasak menggunakan microwave dari produk roti terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sebuah sistem computer vision, digital kamera, dan oven microwave yang telah dimodifikasi.

Selama pemanggangan roti akan mengalami beberapa proses, salah satunya adalah ketika suhu sekitar  $60^{\circ}\text{C}$  yaitu roti mengalami perubahan ukuran secara signifikan (Nicolas dkk, 2010), dan ketika suhu diantara  $150^{\circ}$  sampai  $230^{\circ}\text{C}$  ukuran roti akan menurun (Zhang & Datta, 2006), sedangkan roti akan mengalami penguapan air ketika suhu berada disekitar  $70\text{-}95^{\circ}\text{C}$  (Hadiyanto & Boxtel, 2011).

## 2.2 Pengolahan Citra

Warna adalah elemen dasar dari pengolahan citra digital, ada beberapa jenis ruang warna, ruang warna RGB merupakan ruang warna yang biasa digunakan dalam pemrosesan gambar citra, R, G, dan B merupakan besaran

komponen warna merah, hijau, dan biru, setiap warna tersebut memiliki rentang nilai antara 0 sampai 255 desimal.

Sesuai dengan namanya citra ini menangani gradasi warna hitam putih, yang tentu saja menghasilkan efek warna abu-abu. Pada jenis gambar ini, warna dinyatakan dalam intensitas berkisar antara 0 sampai dengan 255, nilai 0 menyatakan warna hitam dan 255 menyatakan warna putih. Untuk mengkonversi citra berwarna ke citra berskala keabuan menggunakan Persamaan 2.1

$$grayscale = (R + G + B) / 3 \quad (2.1)$$

dengan:

R = Komponen warna merah

G = Komponen warna hijau

B = Komponen warna biru

Segmentasi citra merupakan proses yang ditujukan untuk mendapatkan objek-objek yang terkandung di dalam citra atau membagi citra ke dalam beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah yang memiliki kemiripan atribut. Pada citra yang mengandung satu objek, objek dibedakan dengan latar belakangnya.

Thresholding merupakan metode yang paling sederhana dari segmentasi citra. Dari gambar grayscale, thresholding dapat digunakan untuk membuat gambar biner yaitu dengan warna hitam putih. Persamaan untuk melakukan proses Thresholding adalah menggunakan Persamaan 2.2.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0, & \text{if } f(x, y) < T \end{cases} \quad (2.2)$$

dengan:

$g(x, y)$  = Citra biner

$f(x, y)$  = Citra grayscale

T = Nilai thresholding

Dalam pengolahan citra membutuhkan memori yang lebih besar dibandingkan pengolah teks pada komputer, sehingga untuk menghemat memori warna citra diubah ke tingkat grayscale terendah yang berarti citra hanya mengandung informasi hitam dan putih pada piksel penyusunnya yang biasa

disebut citra biner, selain itu citra biner umumnya lebih sederhana, cepat, dan mudah dalam mengimplementasikan. Salah satu operasi biner adalah mendapatkan area/luas.

Area adalah jumlah pixel-pixel pembentuk suatu objek dan satuannya adalah pixel, suatu luasan akan terbentuk dari pixel-pixel tersebut. Area dapat mencerminkan volume sesungguhnya.

Pengolahan citra sangat membantu dalam proses pemeriksaan roti selama pemanggangan, pengolahan citra digunakan untuk memeriksa kulaitas roti dari parameter perubahan warna dan ukuran selama pemanggangan (Paquet-Durand, 2012).

### 2.2.1 Ruang Warna HSV

*Food baking images* merupakan salah satu objek yang memiliki masalah dalam proses ROI, hal ini dikarenakan terdapat pantulan cahaya oven dan pengaruh bayangan. HSV merupakan model warna yang efektif dapat mengurangi efek dari pantulan cahaya oven dan pengaruh bayangan (zheng dkk, 2014). Konversi dari RGB ke HSV dapat menggunakan Persamaan (2.3) sampai (2.5).

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \left( \frac{G-B}{\Delta} \bmod 6 \right), & \max = R \\ 60^\circ \times \left( \frac{B-R}{\Delta} \right) + 2, & \max = G \\ 60^\circ \times \left( \frac{R-G}{\Delta} \right) + 4, & \max = B \end{cases} \quad (2.3)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{\max}, & \Delta \neq 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$V = \max \quad (2.5)$$

dengan:

$\max$  dan  $\min$  = nilai maksimum dan minimum dari R, G, dan B,

$\Delta$  = perbedaan antara  $\max$  dan  $\min$ .

### 2.2.2 Filter Median

Filter median merupakan salah satu filter *non linier*. Filter median mengurutkan angka tetangga suatu piksel yang akan dimanipulasi untuk kemudian didapatkan nilai tengah. Nilai tengah tersebut yang digunakan untuk mengganti



piksel yang ingin dimanipulasi. Filter median dapat dilakukan menggunakan Persamaan (2.6).

$$I_{med}[x,y] = median(I_{orig}[i,j], i,j \in nbor[x,y]) \quad (2.6)$$

dengan:

$nbor[x,y]$  = *sub image* dari sebuah citra,

$I_{orig}[i,j]$  = sebuah citra.

Setiap tetangga yang berada di luar gambar domain memiliki nilai sama dengan pixel terdekat dalam batas gambar (Ramraj & Rajan, 2010). filter median menggunakan window 3x3, 5x5, 7x7 dan seterusnya.

## 2.3 Logika Fuzzy

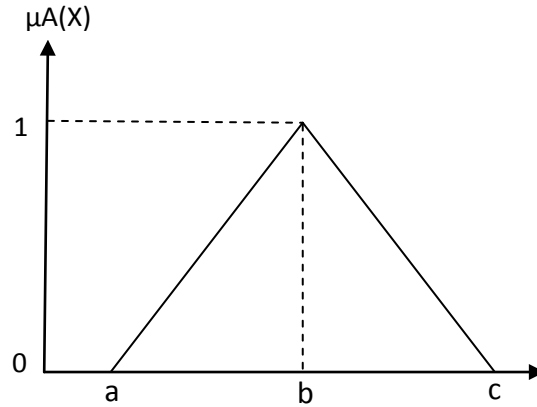
Telah banyak penelitian yang menggunakan logika fuzzy sebagai pengambil keputusan. Seperti misalnya penggunaan logika fuzzy untuk menentukan suhu dalam proses pemanggangan tembakau (Tao & Hu, 2010) dan memasak beras (Aras dkk, 2011), logika fuzzy merupakan teknik untuk menerapkan cara berpikir manusia ke dalam sistem kontrol, yaitu mendapatkan kesimpulan dari masukan yang diperoleh (Aras dkk, 2011). Ada beberapa metode dalam proses defuzzyfikasi, diantaranya adalah metode center of sum yang relative membutuhkan komputasi yang lebih sedikit dibandingkan COG, akan tetapi memiliki kinerja yang relative sama (Shi & Sen, 2000). Untuk membentuk *fuzzy logic*, ada tiga tahapan yang harus dilakukan, yaitu fuzzifikasi, *inferensi Fuzzy* dan defuzzyfikasi

### 2.3.1 Fuzzifikasi

Merupakan proses untuk mengubah variabel non-*Fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *Fuzzy* (variabel linguistik).

#### a. Grafik keanggotaan kurva segitiga

Gambar 2.5 adalah grafik keanggotaan kurva segitiga. Grafik tersebut terdiri dari grafik keanggotaan linier naik dan turun.



Gambar 2.5 Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga

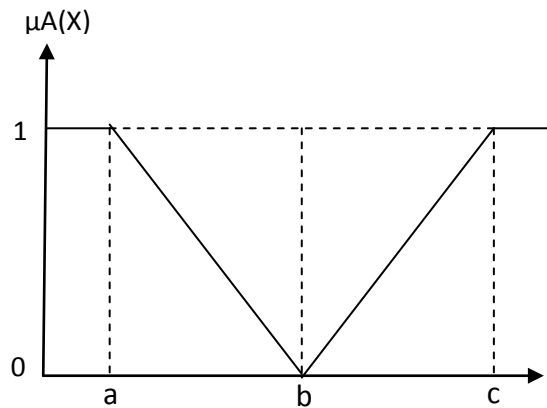
Grafik keanggotaan linier naik yaitu kenaikan himpunan fuzzy dimulai dari domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Grafik keanggotaan kurva linier turun yaitu himpunan fuzzy yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi di sebelah kiri, kemudian bergerak menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Persamaan 2.7.

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b < x < c \\ 1 & ; x = b \end{cases} \quad (2.7)$$

#### b. Grafik keanggotaan kurva bentuk bahu

Gambar 2.6 merupakan grafik keanggotaan kurva bentuk bahu. Grafik tersebut digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy yang nilai derajat keanggotaannya adalah konstan (biasanya 1). Fungsi keanggotaan dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.8.

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 1 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a < x < b \\ \frac{x-b}{c-b} & ; b < x < c \\ 0 & ; x = b \end{cases} \quad (2.8)$$



Gambar 2.6 Grafik Keanggotaan Kurva Bentuk Bahu

### 2.3.2 Sistem Inferensi Fuzzy

Sistem inferensi *Fuzzy* adalah komputasi berdasarkan konsep dari himpunan *Fuzzy*, aturan jika-maka, dan Logika *Fuzzy*. Struktur dasar dari sistem inferensi *Fuzzy* terdiri dari tiga komponen yaitu :

- Basis aturan (berisi aturan-aturan *Fuzzy*)
- Basis data (berisi fungsi keanggotaan)
- Mekanisme penalaran (berisi prosedur informasi)

Berikut adalah format rule yang biasa digunakan dalam *fuzzy* :

*If Antecedent #1 AND Antecedent #2 AND ...Then Consequent 1 AND Consequent 2 AND ...*

### 2.3.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses kebalikan dari Fuzzifikasi yaitu memetakan kembali himpunan *Fuzzy* ke dalam himpunan crisp agar keluaran dari sistem *Fuzzy* dapat diproses lebih lanjut. Untuk mendapatkan nilai keluaran dari proses defuzzifikasi menggunakan metode COS dapat menggunakan Persamaan (2.9).

$$Z^* = \frac{\int_z \sum_{k=1}^n Z \cdot uck(Z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n uck(Z) dz} \quad (2.9)$$

dengan:

$Z$  = Titik tengah dari tiap-tiap membership function

$u_{ck}$  = Luasan tiap membership function yang mewakili derajat keanggotaan

$Z^*$  = Keluaran defuzzyfikasi

Metode COS relative membutuhkan komputasi yang lebih sedikit dibandingkan COG, akan tetapi memiliki kinerja yang relative sama (Mitsuishi, 2012).

## 2.4 Kontrol PI

Kontrol Proportional, Integral dan Derivative (PID) adalah sebuah kontrol dengan loop tertutup. Kontrol PID digunakan secara luas di industri. Kontrol PID berfungsi untuk memperkecil selisih antara nilai dari proses variabel dengan set point yang telah ditentukan dengan cara menghitung selisih dengan konstanta P, I, dan D yang telah didapat. Selanjutnya adalah mengeluarkan aksi perbaikan pada plant. Kontrol PI merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pengaturan suhu (Schoeman, 2011).

Ada tiga parameter dalam kontrol PID, yaitu nilai Proporsional, Integral dan Derivative. Setiap parameter kontrol PID memiliki karakter dan fungsi masing-masing seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2.1. Dengan melakukan tuning konstanta disetiap parameter dapat memberikan respon yang diinginkan.

Tabel 2.1. Karakteristik Masing-Masing Kontrol PID

| Respon | Rise Time       | Overshoot  | Settling Time   | S-S Error           |
|--------|-----------------|------------|-----------------|---------------------|
| Kp     | Mengurangi      | Menambah   | Perubahan Kecil | Mengurangi          |
| Ki     | Mengurangi      | Menambah   | Menambah        | Mengeliminasi       |
| Kd     | Perubahan Kecil | Mengurangi | Mengurangi      | Tidak ada Perubahan |

Sumber: <http://ctms.engin.umich.edu>

### 2.4.1 Proportional

Respon parameter proportional dapat diatur dengan mengalikan error dengan konstanta proporsional. Parameter proporsional memiliki efek mengurangi rise time dan mengurangi steady state error tapi tidak pernah menghilangkannya. Parameter proportional dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.10.

$$P = K_p \cdot e(t) \quad (2.10)$$

dengan:

- P : keluaran proporsional,
- K<sub>p</sub> : konstanta proporsional,
- e : Error = Setpoint – Variabel aktual,
- t : waktu (saat ini).

### 2.4.2 Integral

Respon parameter integral dapat diatur dengan mengalikan hasil jumlah error sekarang dengan error sebelumnya dengan konstanta integral. Parameter integral memberikan pengaruh menghilangkan *steady state error*. Parameter Integral diberikan melalui Persamaan 2.11 :

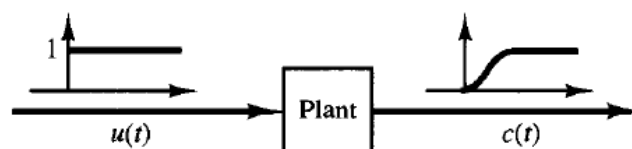
$$I = K_i \cdot \int e(t)dt \quad (2.11)$$

dengan:

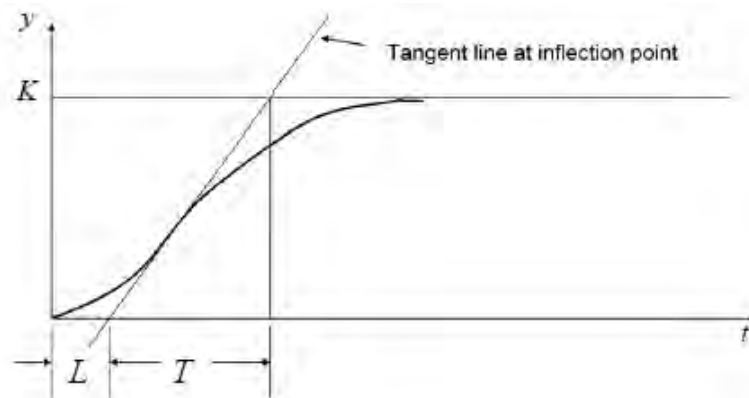
- I : Keluaran Integral,
- K<sub>i</sub> : Konstanta Integral,
- e : Error = SP-PV.

### 2.5. Tuning PID

Kesalahan dalam memilih parameter kontroler PID menyebabkan sistem menjadi tidak stabil (output menyimpang atau terjadi osilasi). Salah satu metode untuk memudahkan tuning adalah metode Ziegler-Nichols. Pada metode ini yang pertama dilakukan adalah memberikan input step pada sistem dengan kondisi open loop (Gambar 2.7). Reaksi sistem akan berbentuk S sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Metode Tuning Ziegler-Nichols 1



Gambar 2.8 Reaksi Sistem Open Loop Ketika diberi Input Step (Schoeman, 2011)

Tabel 2.2 Tuning PID Metode Ziegler-Nichols

| Kontrol | $K_p$              | $K_i$                 | $K_d$          |
|---------|--------------------|-----------------------|----------------|
| P       | $T/L$              | 0                     | 0              |
| PI      | $0,9 \times (T/L)$ | $0,27 \times (T/L^2)$ | 0              |
| PID     | $1,2 \times (T/L)$ | $0,6 \times (T/L^2)$  | $0,6 \times T$ |

Sumber: Schoeman, 2011

Gambar 2.8 menunjukkan kurva S dari hasil pemberian sinyal step kepada sistem. Konstanta  $L$  (dead time) dan waktu untuk mencapai maksimum ( $T$ ) digunakan untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Setelah mendapat titik infleksi yaitu dengan cara mencari gradien terbesar pada titik-titik sepanjang kurva S (Iqwandy, 2014), selanjutnya adalah memasukkan ke Persamaan sesuai dengan Tabel 2.2.

## 2.6 Perpindahan Panas pada Oven Gas

Panas akan berpindah dari benda bertemperatur tinggi menuju benda yang bertemperatur rendah. Temperatur yang lebih tinggi akan menyamakan temperatur pada benda yang saling bersentuhan. Panas atau kalor merupakan energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Energi akan terhenti setelah benda-benda yang bersentuhan mencapai suhu yang sama.

Konduksi adalah pemindahan panas yang dihasilkan dari kontak langsung antara permukaan-permukaan benda. Konduksi terjadi hanya dengan menyentuh atau menghubungkan permukaan-permukaan yang mengandung

panas. Setiap benda mempunyai konduktivitas termal (kemampuan mengalirkan panas) tertentu yang akan mempengaruhi panas yang dihantarkan dari sisi yang panas ke sisi yang lebih dingin. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu benda, semakin cepat ia mengalirkan panas yang diterima dari satu sisi ke sisi yang lain. Dalam proses perpindahan panas dengan cara konduksi hanya panas yang berpindah sementara mediumnya tidak ikut berpindah. Adanya tambahan energi menyebabkan atom dan molekul penyusun benda bergerak semakin cepat. Pada Gambar 2.9 menunjukkan ilustrasi proses terjadinya konduksi. Ketika bergerak, molekul akan memiliki energi kinetik ( $EK = \frac{1}{2} mv^2$ ). Molekul-molekul yang bergerak lebih cepat (energi kinetiknya lebih besar) menumbuk molekul yang berada di sampingnya, kejadian ini akan terus berulang. Jadi molekul-molekul saling bertumbukan sambil memindahkan energi. Perpindahan panas yang terjadi melalui tumbukan antara molekul penyusun benda inilah yang dinamakan perpindahan panas secara konduksi. Persamaan laju perpindahan panas ( $Q$ ) secara konduksi dapat dilihat pada Persamaan 2.12,

$$\frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.12)$$

dengan:

$Q/t$  = laju perpindahan kalor (J/s),

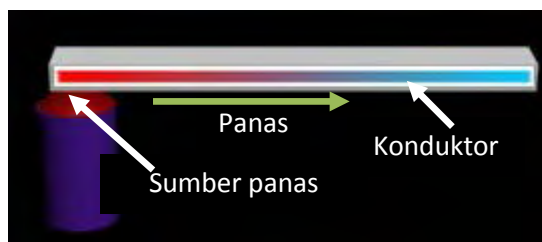
$k$  = konduktivitas termal (J/s m °C),

$A$  = luas Penampang( $m^2$ ),

$T_1$  = temperature tertinggi (°C),

$T_2$  = temperature terendah (°C),

$L$  = jarak antara temperature panas dan temperature rendah (m).



Gambar 2.9 Ilustrasi Proses Terjadinya Konduksi

Konveksi adalah perpindahan panas akibat adanya perpindahan molekul-molekul pada zat cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi terjadi karena adanya perbedaan massa jenis dalam zat tersebut. Jika terdapat perbedaan suhu, maka molekul-molekul yang memiliki suhu yang lebih tinggi akan berpindah ke tempat yang memiliki suhu lebih rendah. Posisi molekul yang berpindah tersebut akan digantikan dengan molekul lain yang memiliki suhu yang lebih rendah. Dan begitu seterusnya. Gambar 2.10 merupakan ilustrasi proses terjadinya konveksi, ketika air dipanaskan, panas berpindah dari api menuju wadah secara konduksi. Selanjutnya panas akan berpindah menuju ke air secara konveksi. Adanya panas menyebabkan suhu air yang dekat dengan alas dalam wadah meningkat sehingga massa jenis air berkurang. Hal tersebut akan menyebabkan air bagian atas dalam wadah akan turun karena memiliki massa jenis air lebih besar dibandingkan dengan massa air yang berada dekat dengan alas wadah (sumber api). Persamaan laju perpindahan panas ( $Q$ ) secara konveksi dapat dilihat pada Persamaan 2.13,

$$Q/t = hA\Delta T \quad (2.13)$$

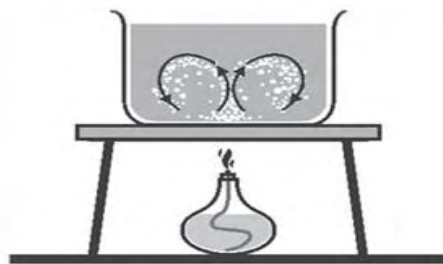
dengan:

$Q/t$  = laju perpindahan kalor (J/s atau W),

$h$  = koefisien konveksi ( $W/m^2 K$ ),

$A$  = luas penampang ( $m^2$ ),

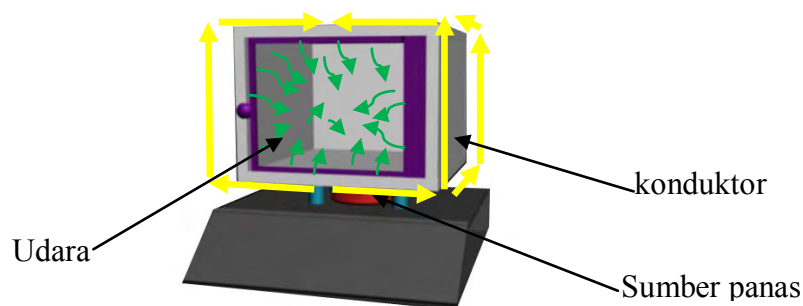
$\Delta T$  = kenaikan suhu (K).



Gambar 2.10 Ilustrasi Proses Terjadinya Konveksi  
(<http://gardasains.blogspot.com>)



Gambar 2.11 menunjukkan ilustrasi proses perpindahan panas pada oven. Konduksi terjadi pada perpindahan panas dari api menuju oven, konduktivitas termal pada bahan oven akan mempengaruhi kecepatan panas yang dihantarkan dari sisi yang panas menuju sisi yang lebih dingin. Pada saat bahan oven menerima panas dari api, atom dan molekul penyusun benda akan bergerak. Ketika bergerak, molekul akan memiliki energi kinetik. Molekul yang memiliki energi kinetik besar akan menumbuk molekul di sampingnya, kejadian ini akan terus berulang sekaligus memindahkan energi panas. Proses tersebut akan dialami di setiap bagian oven, sehingga suhu yang lebih tinggi akan menyamakan temperatur pada bagian yang saling bersentuhan. Sedangkan konveksi terjadi pada perpindahan panas dari bahan oven menuju udara yang berada di dalam oven. Udara di dalam oven yang mendapat panas akan mengalami peningkatan suhu sehingga menyebabkan udara memuai, memuainya udara akan mengakibatkan massa jenis berkurang. Udara yang massa jenisnya mengalami penurunan akan mengakibatkan udara tersebut bergerak ke atas. Posisi udara yang bergerak ke atas akan digantikan oleh udara yang belum mendapat panas atau udara yang memiliki massa jenis lebih besar dibandingkan dengan udara yang telah menerima panas. Proses tersebut akan terus berlangsung. Arah panah warna kuning pada Gambar 2.11 menunjukkan proses terjadinya konduksi, sedangkan arah panah warna hijau menunjukkan terjadinya konveksi.

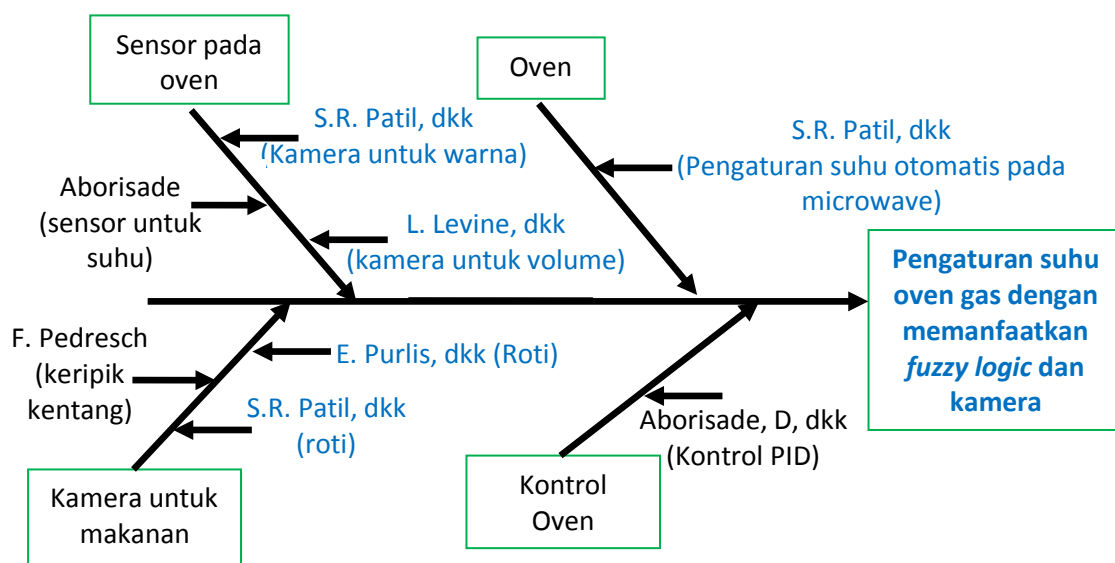


Gambar 2.11 Ilustrasi Proses Perpindahan Panas pada Oven

## 2.7 Diagram Fishbone

Gambar 2.12 adalah sebuah diagram *fishbone* yang menunjukkan beberapa penelitian dan referensi yang memiliki hubungan dalam penelitian ini. Terdiri dari empat bagian, yaitu sensor pada oven, oven, kamera untuk makanan, dan kontrol oven. Ada tiga penelitian tentang sensor yang digunakan pada oven yaitu sensor suhu digunakan untuk mengetahui suhu di dalam oven, sedangkan yang lain adalah kamera digunakan untuk mengetahui perubahan warna dan volume dari roti, penelitian kamera yang digunakan untuk mengetahui perubahan warna dari roti dilakukan oleh S.R. Patil dkk, sedangkan penelitian tentang kamera yang digunakan untuk mengetahui perubahan volume roti adalah L. Levine dkk. Terdapat penelitian tentang oven microwave, suhu pada oven microwave diatur sesuai dengan tingkat kematangan roti.

Ada beberapa pemanfaatan kamera untuk mengetahui kualitas makanan, misalnya untuk mengetahui kualitas makanan keripik kentang yang dilakukan F.Pedresh dkk, dan untuk mengetahui tingkat kematangan dari roti dilakukan oleh E. Purlis dan S. R. Patil. Kontrol PID digunakan pada penelitian tentang oven yang dilakukan oleh Aborisade, dkk, kontrol PID digunakan untuk mengatur suhu pada oven. Sehingga dari beberapa penelitian-penelitian tersebut didapatkan sebuah ide untuk bagaimana membuat suatu sistem pengaturan oven gas dengan memanfaatkan Logika Fuzzy dan kamera selama pemanggangan roti.



Gambar 2.12 Diagram Fishbone

## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian akan dilakukan pada pembuatan alat beserta algoritma program yang bertujuan untuk mengatur laju aliran gas pada kompor sesuai dengan tingkat kematangan roti. Rangkaian kegiatan penelitian secara umum direncanakan sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Perancangan oven dan kompor
3. Perancangan sistem keseluruhan
4. Menentukan parameter grayscale dan lebar roti
5. Menentukan setpoint suhu
6. Pengaturan laju aliran gas

Gambar 3.1 adalah diagram blok tahap pelaksanaan penelitian. Penelitian dimulai dengan mempelajari literatur yang mendukung dalam proses pembuatan sistem.



Gambar 3.1 Diagram Blok Tahap Pelaksanaan Penelitian

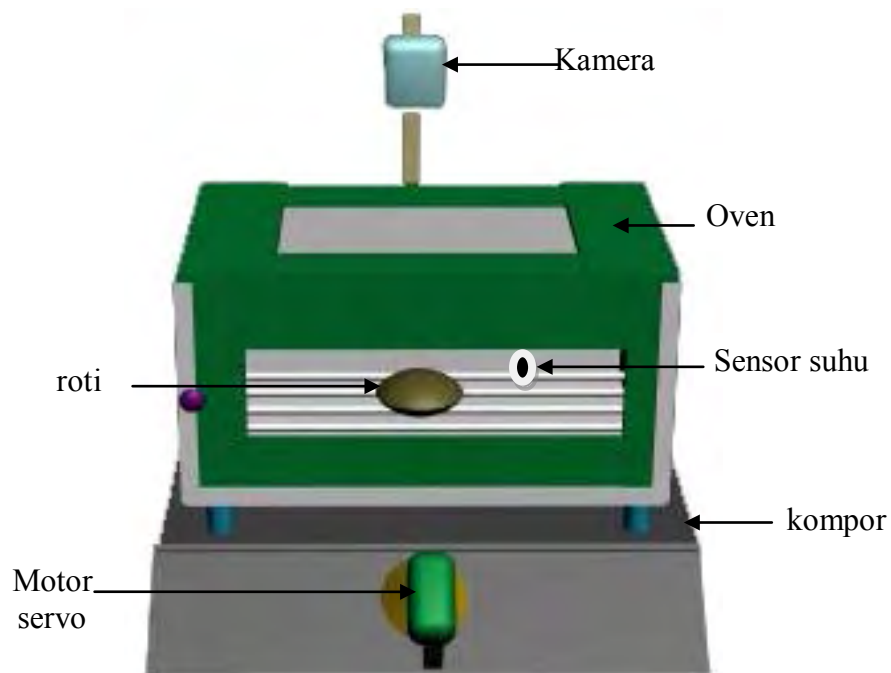
### 3.2 Studi Literatur

Dalam tahap studi literatur akan mempelajari tentang karakteristik roti ketika mengalami proses pemanggangan. Roti akan dipanggang di oven gas, sehingga diperlukan studi tentang cara kerja oven gas. Karakteristik roti yang berupa perubahan grayscale dan lebar pada roti ketika proses pemanggangan akan diolah lebih lanjut oleh kamera. Pengolahan citra diperlukan untuk mengolah gambar hasil pengambilan kamera. *Fuzzy logic* digunakan sebagai pengambil keputusan set point suhu, sehingga diperlukan studi terlebih dahulu tentang proses *fuzzifikasi* sampai *defuzzifikasi*. Selain itu diperlukan juga studi tentang pengubah laju aliran gas yang menggunakan kontrol PI.

### 3.3 Perancangan Oven dan Kompor

Perancangan oven dan kompor ini bertujuan untuk membantu proses *capture* roti yang berada dalam oven dan mengatur aliran gas pada kompor. Evaluasi yang akan dilakukan terhadap roti meliputi *fitur eksternal* yaitu perubahan grayscale dan lebar roti.

Roti berada di dalam oven di-*capture* oleh kamera untuk mendapatkan lebar dan grayscale dari roti selama pemanggangan, jadi oven yang digunakan memiliki kaca dibagian atasnya. Intensitas cahaya yang tidak konstan akan mengakibatkan proses pembacaan parameter roti oleh kamera akan terganggu, sehingga diperlukan kotak dengan intensitas cahaya konstan didalamnya. Lampu LED digunakan sebagai penerangan di dalam kotak. Cahaya lampu LED di kontrol agar proses pembacaan parameter grayscale dan lebar tidak terganggu ketika terjadi gangguan penambahan intensitas cahaya dari luar. Motor servo ditempel pada knop kompor gas, hal ini bertujuan untuk dapat memutar knop untuk merubah laju aliran gas secara otomatis. Sensor suhu diletakkan di dalam oven untuk mengetahui nilai suhu di dalam oven. Perubahan suhu di dalam oven tersebut diatur dengan merubah laju aliran gas pada kompor yang di atur oleh motor servo.



Gambar 3.2 Sketsa Rancangan Oven dan Kompor

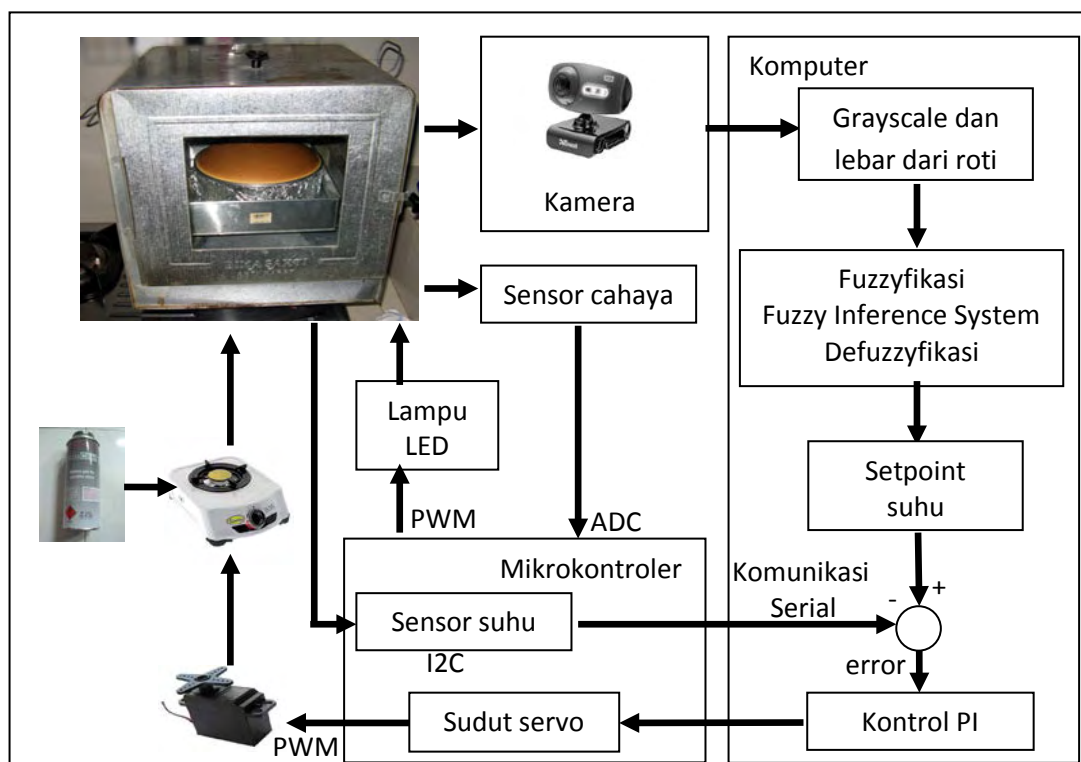
Pada Gambar 3.2 adalah ilustrasi oven yang digunakan, kamera digunakan untuk mengambil gambar roti untuk mengetahui perubahan lebar roti, selain itu juga digunakan untuk mengetahui perubahan grayscale pada roti.

### 3.4 Rancangan Sistem Keseluruhan

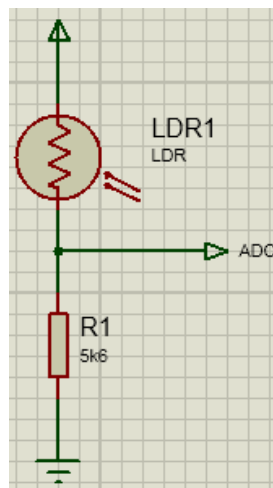
Dalam proses penelitian ini diperlukan instrumen-instrumen untuk proses pengambilan data untuk selanjutnya dianalisa, Gambar 3.3 menunjukkan sistem keseluruhan.

Data perubahan grayscale dan lebar roti diambil oleh kamera secara *relatime*. Kamera yang digunakan adalah kamera *web-cam* A4tech. Kamera digunakan untuk mengetahui proses perubahan grayscale dan lebar dari roti. Parameter grayscale dan lebar roti selama pemanggangan digunakan sebagai masukan *fuzzy logic*, hasil dari *fuzzyfikasi* dimasukkan ke mesin inferensi sistem, dan hasil dari *defuzzyfikasi* adalah berupa nilai suhu yang digunakan sebagai *set point* pada suhu oven. Hasil dari *defuzzyfikasi* dikirim ke mikrokontroler dengan cara komunikasi serial, mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino mega. Hasil selisih dari *set point* yang dihasilkan oleh proses *defuzzyfikasi*

dan pembacaan dari sensor suhu digunakan untuk menentukan putaran motor servo melalui kontrol PI. Proses *fuzzy logic* dilakukan di dalam *Personal Computer*, sedangkan proses untuk mengontrol motor servo dan pembacaan suhu berada di dalam mikrokontroler. Sensor suhu yang digunakan adalah thermocouple type K dan motor servo yang digunakan memiliki torsi 9 Kg, dibutuhkan modul max6675 sebagai kompensasi suhu untuk thermocouple dan dibutuhkan penguat arus untuk proses kerja dari motor servo. Nilai PWM yang dikeluarkan oleh mikrokontroler digunakan untuk menentukan sudut motor servo untuk merubah laju aliran gas pada kompor dan membuat besar api berubah sehingga terjadi perubahan suhu pada oven, perubahan suhu tersebut akan mengakibatkan perubahan visual pada roti berupa perubahan lebar dan grayscale, perubahan eksternal pada roti tersebut selalu di-capture oleh *web cam* untuk mendapatkan nilai parameter grayscale dan lebar roti.

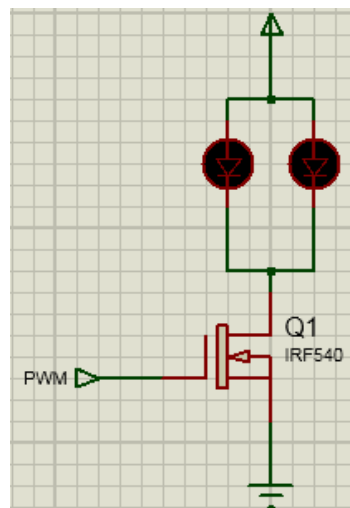


Gambar 3.3 Sistem Keseluruhan

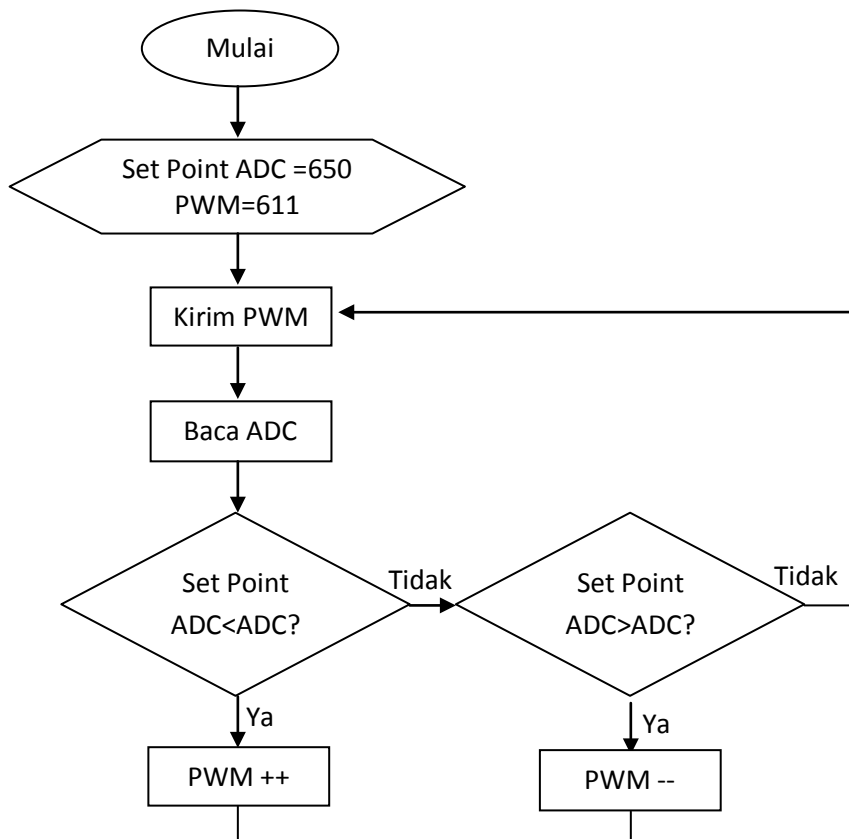


Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Cahaya

Gambar 3.4 adalah rangkaian yang digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya di dalam kotak yang berisi kamera. Hasil dari pembacaan sensor digunakan untuk mengontrol cahaya yang berada dalam kotak yang berisi kamera tersebut. Karakteristik dari rangkaian tersebut adalah ketika cahaya berintensitas tinggi maka tegangan ADC akan naik, dan begitu juga sebaliknya ketika cahaya berintensitas rendah maka tegangan ADC akan turun.



Gambar 3.5 Rangkaian Kontrol Cahaya



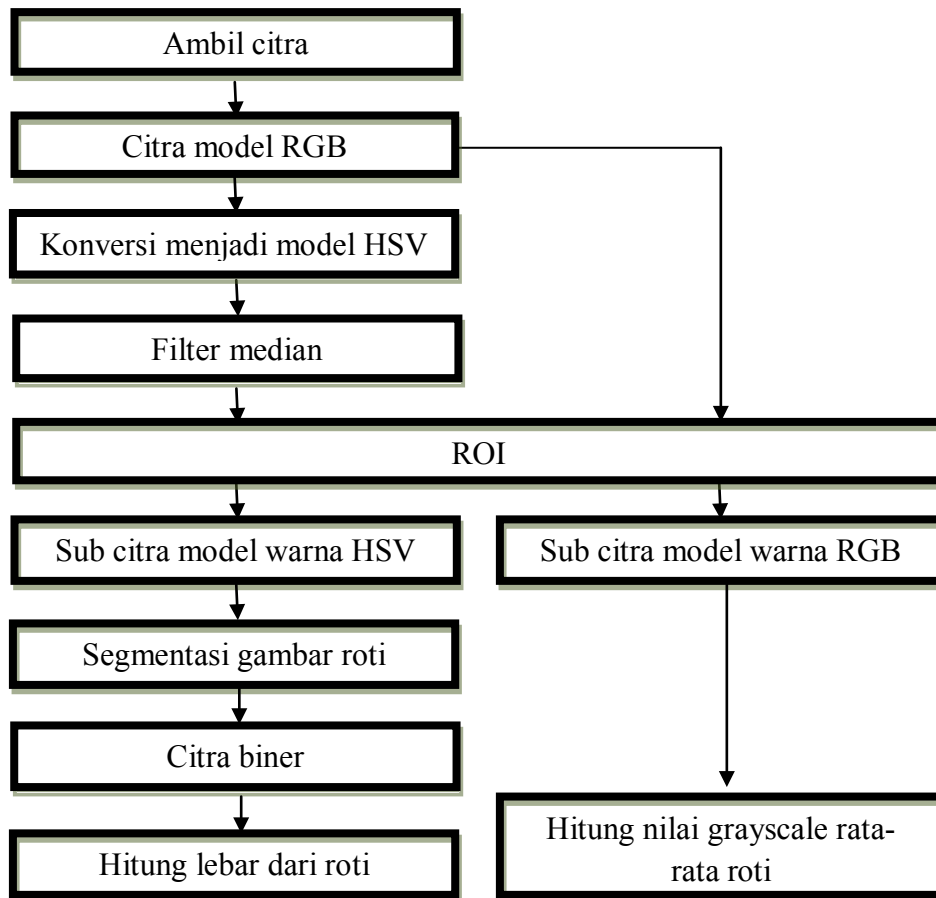
Gambar 3.6 *Flowchart* Kontrol Cahaya

Gambar 3.5 adalah rangkaian untuk kontrol cahaya, komponen utamanya adalah IRF540, lampu LED yang digunakan adalah lampu LED 12 V olt DC. Dalam sebuah kontrol tentu dibutuhkan sebuah algoritma untuk mengatur intensitas cahaya, Gambar 3.6 adalah *flowchart* yang digunakan untuk mengatur cahaya di dalam kotak berisi kamera. Resolusi PWM dan ADC yang digunakan adalah 10 bit.

### 3.5 Menentukan Parameter Grayscale dan Lebar Roti

Perubahan grayscale dan lebar roti adalah dua parameter yang digunakan sebagai input *fuzzy logic*, ada beberapa proses pengolahan citra yang diperlukan untuk mendapatkan perubahan grayscale dan lebar roti selama pemanggangan. Gambar 3.7 menunjukkan alur diagram dari proses mendapatkan parameter grayscale dan lebar.





Gambar 3.7 Alur Diagram untuk Mendapatkan Parameter Grayscale dan Lebar Roti Selama Pemanggang

Parameter grayscale yang digunakan adalah rata-rata grayscale roti, sedangkan lebar roti diperoleh dari hasil konversi jumlah piksel menjadi satuan panjang milimeter. Proses dilakukan dengan memulai mengambil gambar citra, untuk mengurangi efek cahaya pantulan dari lampu maka citra dikonversi menjadi model warna HSV, HSV merupakan model warna yang efektif dapat mengurangi efek dari pantulan cahaya oven dan pengaruh bayangan (Zheng dkk, 2014).

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses filter median menggunakan Persamaan (2.6), filter median digunakan untuk mengurangi noise yang berada dalam sebuah citra. Setiap tetangga yang berada di luar gambar domain memiliki nilai sama dengan pixel terdekat dalam batas gambar.

Untuk mempercepat dan memudahkan proses scanning, maka diambil gambar roti untuk menjadi 2 sub image, yaitu sub image RGB dan HSV, sub

image HSV selanjutnya dirubah menjadi citra biner dengan memanfaatkan proses segmentasi dengan menggunakan Persamaan (3.1)

$$G(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } TH \max \geq H(x,y) \geq TH \min \text{ and} \\ & TS \max \geq H(x,y) \geq TS \min \text{ and} \\ & TV \max \geq H(x,y) \geq TV \min \\ 0 & \text{if } TH \max < H(x,y) < TH \min \text{ and} \\ & TS \max < H(x,y) < TH \min \text{ and} \\ & TV \max < H(x,y) < TV \min \end{cases} \quad (3.1)$$

dengan:

$G(x,y)$  = sub image biner,

$H(x,y)$  = image HSV,

$TH_{\max}$  = nilai *threshold* maksimal komponen Hue,

$TS_{\max}$  = nilai *threshold* maksimal komponen Saturation,

$TV_{\max}$  = nilai *threshold* maksimal komponen Value.

Setelah mendapatkan sub image biner dan sub image RGB, selanjutnya adalah mendapatkan posisi piksel yang memiliki nilai 1 dengan cara scanning di sub image biner untuk mendapatkan nilai grayscale di posisi sub image RGB. Proses untuk mendapatkan grayscale roti rata-rata dari sub image RGB menggunakan Persamaan (3.2).

$$F_{gray} = \frac{\sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} \left( \frac{F^R(i,j) + F^G(i,j) + F^B(i,j)}{3} \right)}{\sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} (G(i,j) == 1)} \text{ if } G(i,j)=1 \quad (3.2)$$

dengan:

$F_{gray}$  = nilai rata-rata grayscale dari citra roti,

$F^R(i,j)$  = nilai komponen merah,

$F^G(i,j)$  = nilai komponen hijau,

$F^B(i,j)$  = nilai komponen biru pada piksel ke  $(i,j)$ ,

$G(i,j)$  = sub image biner.

Jumlah piksel lebar roti diambil dari jumlah piksel yang bernilai 1 terbanyak dari baris sub image biner. Lebar roti didapat menggunakan Persamaan (3.3)

$$LebarRoti = N \times Jum\_Piksel \quad (3.3)$$

dengan:

LebarRoti = lebar roti dalam satuan milimeter,

Jum\_Piksel = jumlah piksel lebar roti,

N = ukuran persatuan piksel (mm).

Sedangkan untuk mendapatkan nilai N, yaitu nilai hasil kalibrasi diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3.4)

$$N = \frac{Lebar\_objek}{Jumlah\_piksel} \quad (3.4)$$

dengan:

N = ukuran persatuan piksel (mm),

lebar\_objek = ukuran lebar dari objek sebenarnya (mm),

jumlah\_piksel = jumlah piksel dari lebar objek.

Perintah dalam bentuk listing program adalah sebagai berikut:

- Ambil citra  
`ImgColor = CapDiv.QueryFrame.Flip(Emgu.CV.CvEnum.FLIP.HORIZONTAL)`
- Citra model RGB  
`ImgColor` merupakan variabel dari citra RGB
- Konversi menjadi model HSV  
`ImgHSV = ImgColor.Convert(Of Hsv, Byte)()`  
`ImgHSV` merupakan variabel dari citra HSV
- Filter median  
`ImgHSV = ImgHSV.SmoothMedian(9)`
- ROI  
`ImgColorCopy = ImgColor.Copy(New Rectangle(x_awal, y_awal, (x_akhir - x_awal), (y_akhir - y_awal)))`  
`ImgRoi = ImgHSV.Copy(New Rectangle(x_awal, y_awal, (x_akhir - x_awal), (y_akhir - y_awal)))`

Nilai `x_awal` dan `y_awal` diperoleh dari proses seleksi gambar menggunakan mouse, ketika ada even klick mouse pada piksel di sebuah citra maka posisi piksel akan tersimpan di variabel `x_awal` dan `y_awal`.

Berikut adalah perintah program:

```
x_awal = e.X  
y_awal = e.Y
```

Nilai `x_akhir` dan `y_akhir` diperoleh dari proses pelepasan even drag mouse pada piksel di sebuah citra maka posisi piksel akan tersimpan di variabel `x_akhir` dan `y_akhir`. Berikut adalah perintah pada program:

```
x_awal = e.X  
y_awal = e.Y
```

- Sub citra model warna HSV

`ImgRoi` adalah sub citra model HSV dimana ukurannya adalah sesuai dengan hasil seleksi dari proses ROI

- Sub citra model warna RGB

`ImgColorCopy` adalah sub citra model RGB dimana ukurannya adalah sesuai dengan hasil seleksi dari proses ROI

- Segmentasi gambar roti

```
gambarHSV = ImgRoi.InRange(New Hsv(hue - NumericUpDown1.Value,  
saturation - NumericUpDown2.Value, value - NumericUpDown3.Value),  
New Hsv(hue + NumericUpDown1.Value, saturation +  
NumericUpDown2.Value, value + NumericUpDown3.Value))
```

- Citra biner

`gambarHSV` merupakan citra biner

- Hitung lebar dari roti

```
For i = 0 To tinggi - 1  
    For j = 0 To lebar2 - 1  
        If gambarHSV.Data(i, j, 0) = 255 Then  
            panjang_temp = panjang_temp + 1  
        ElseIf gambarHSV.Data(i, j, 0) = 0 Then  
            panjang_temp = panjang_temp + 0  
        End If  
    Next  
    If panjang < panjang_temp Then  
        panjang = panjang_temp  
        panjang_temp = 0  
    Else  
        panjang_temp = 0  
    End If  
Next  
TextBox9.Text = Math.Round(lebar * 1.125, 2)  
TextBox10.Text = Math.Round(panjang * 1.125, 2)
```

Variabel panjang adalah lebar dari objek roti, hasil dari pembacaan dari jumlah piksel terbanyak pada lebar roti selanjutnya akan dikonversi dalam bentuk satuan milimeter, nilai hasil kalibrasi adalah 1,125. Variabel tinggi dan lebar2 adalah variabel ukuran image hasil dari ROI.

- Hitung nilai grayscale rata-rata dari roti

```

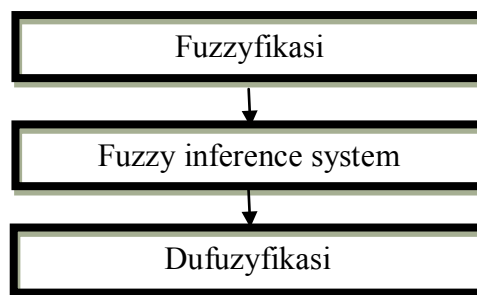
For i = 0 To tinggi - 1
    For j = 0 To lebar2 - 1
        If gambarHSV.Data(i, j, 0) = 255 Then
            dataB = dataB + ImgColorCopy.Data(i, j, 0)
            dataG = dataG + ImgColorCopy.Data(i, j, 1)
            dataR = dataR + ImgColorCopy.Data(i, j, 2)
            k = k + 1
        End If
    Next
Next
Rblue = dataB / k
Rgreen = dataG / k
Rred = dataR / k
gray = (Rblue + Rgreen + Rred) / 3

```

variabel k adalah jumlah piksel yang berwarna putih pada gambarHSV, dataB, dataG, dan dataR adalah nilai jumlah komponen blue, green dan red pada piksel di image ImgColorCopy. Sedangkan adalah nilai rata-rata dari nilai setiap komponen R, G, dan B pada image ImgColorCopy.

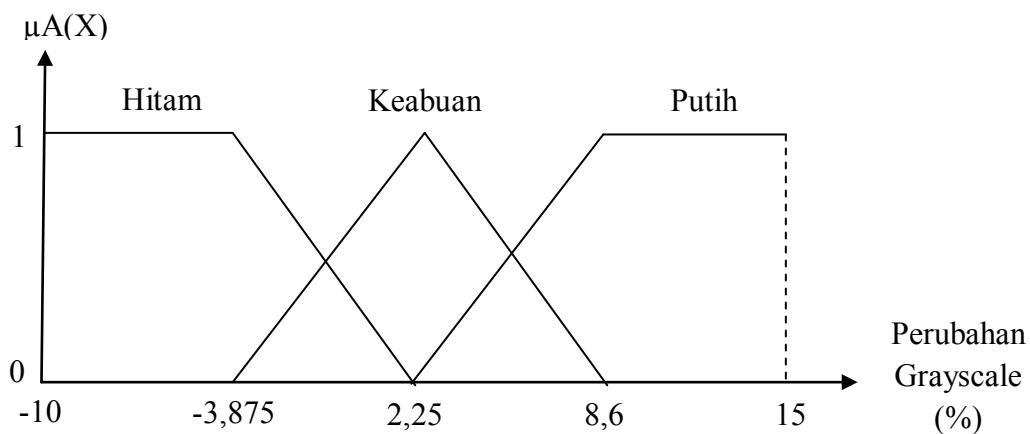
### 3.6 Menentukan Setpoint Suhu

Logika fuzzy merupakan teknik untuk menerapkan cara berpikir manusia ke dalam sistem kontrol, yaitu mendapatkan kesimpulan dari masukan yang diperoleh, Gambar 3.8 menunjukkan tiga tahap dalam proses logika fuzzy.

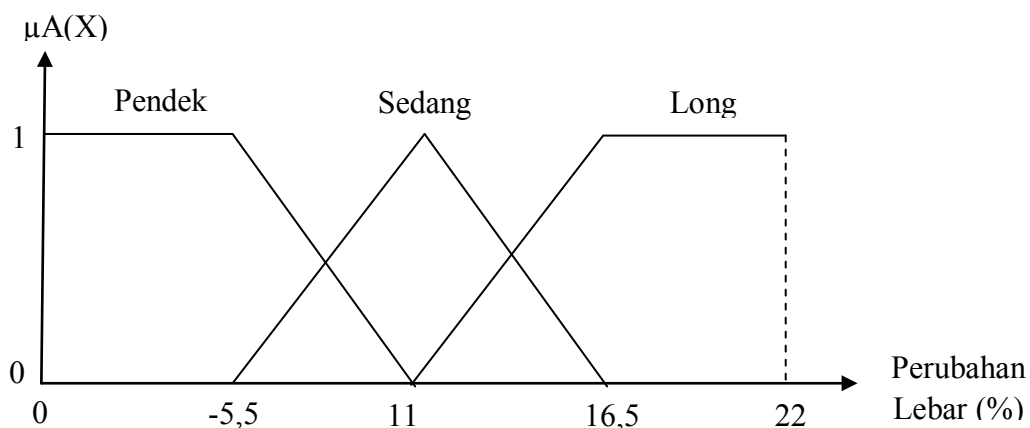


Gambar 3.8 Alur Diagram Dari Logika Fuzzy untuk Mendapatkan Setpoint Suhu

Logika fuzzy digunakan untuk menentukan setpoint suhu, fungsi keanggotaan perubahan grayscale dan lebar roti didapat dari hasil percobaan selama proses pembakaran roti sampai roti dalam keadaan matang, nilai perubahan data terkecil dan terbesar digunakan sebagai batas terkecil dan terbesar pada himpunan keanggotaan masukan fuzzy. Fungsi keanggotaan input fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan 3.10. Untuk menghubungkan antara fungsi keanggotaan masukan dan keluaran fuzzy diperlukan basis aturan, aturan didasarkan dari pengetahuan tentang perubahan parameter roti selama pemanggangan. Dimana pada suhu 52-62° C terjadi perubahan ukuran roti, suhu di bawah 150° C panas dari luar mulai masuk ke dalam adonan, dan perubahan nilai grayscale terlihat secara signifikan pada suhu di atas 150° C.



Gambar 3.9 Himpunan Fuzzy pada Variabel Perubahan Grayscale

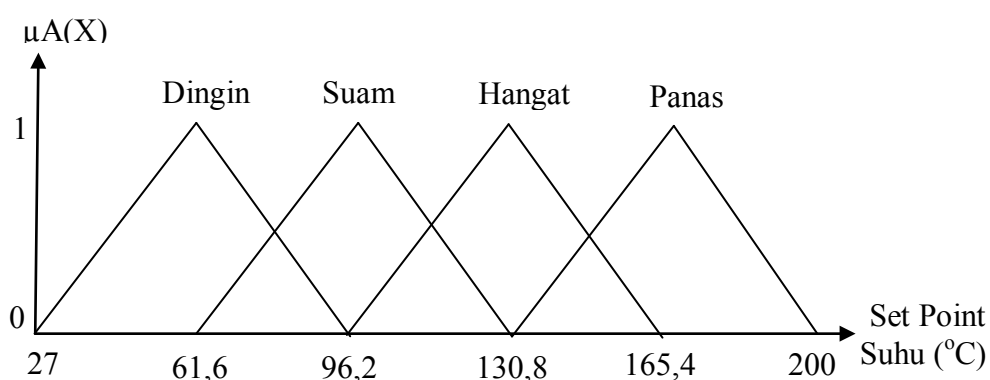


Gambar 3.10 Himpunan Fuzzy pada Variabel Perubahan Lebar

Tabel 3.1 adalah basis aturan yang digunakan, fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi implikasi *min* dan komposisi aturan yang digunakan adalah komposisi aturan *max*. Proses terakhir dari logika fuzzy adalah defuzzyfikasi, yaitu merubah bentuk linguistik menjadi nilai pasti, Gambar 3.11 adalah fungsi keanggotaan keluaran logika fuzzy. Untuk proses defuzzyfikasi menggunakan metode center of sum yang relative membutuhkan komputasi yang lebih sedikit dibandingkan COG, akan tetapi memiliki kinerja yang relative sama, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.9).

Tabel 3.1. Basis Aturan dari Pembacaan Perubahan Grayscale dan Lebar Roti

| No | Parameter roti |         | Temperature |
|----|----------------|---------|-------------|
|    | Grayscale      | Lebar   |             |
| 1  | Putih          | Pendek  | Dingin      |
| 2  | Putih          | Sedang  | Suam        |
| 3  | Putih          | Panjang | Hangat      |
| 4  | Keabuan        | Pendek  | Dingin      |
| 5  | Keabuan        | Sedang  | Hangat      |
| 6  | Keabuan        | Panjang | Panas       |
| 7  | Hitam          | Pendek  | Dingin      |
| 8  | Hitam          | Sedang  | Hangat      |
| 9  | Hitam          | Panjang | Panas       |



Gambar 3.11 Himpunan Fuzzy pada Variabel Set Point Suhu

### 3.7 Pengaturan Laju Aliran Gas

Pengaturan laju aliran gas bertujuan untuk mengatur suhu udara oven, kontrol PI merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pengaturan suhu. Gambar 3.12 menunjukkan alur diagram untuk mendapatkan nilai sudut motor servo. Persamaan (3.5) digunakan untuk mendapatkan sudut servo. Nilai 58 adalah sudut servo yang menyebabkan api kompor berada dalam kondisi terkecil, nilai tersebut diperoleh dari hasil percobaan pada kompor.

Tahap awal untuk menentukan sudut servo adalah memperoleh nilai selisih dari nilai suhu udara oven dengan nilai dari setpoint suhu. Suhu udara oven diperoleh dari pembacaan sensor thermocouple, dibutuhkan modul max6675 sebagai kompensasi suhu (Gambar 3.13). Untuk menentukan nilai Ki dan Kp menggunakan metode Ziegler-Nichols. Pada penelitian ini menggunakan  $K_p=2$ , dan  $K_i=0.01$ .

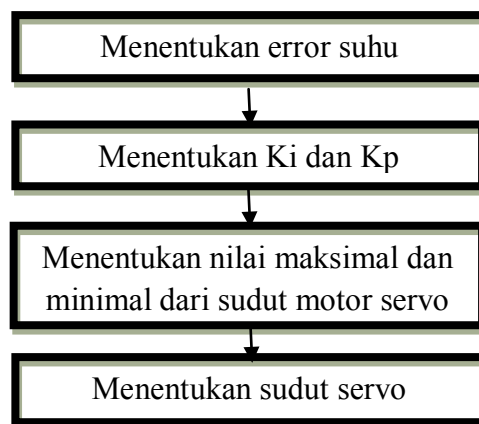
$$\text{Sudut servo} = (K_p \times e(t) + K_i \times (e(t) + e(t-1))) + 58 \quad (3.5)$$

dengan:

Sudut servo = Sudut dari servo,

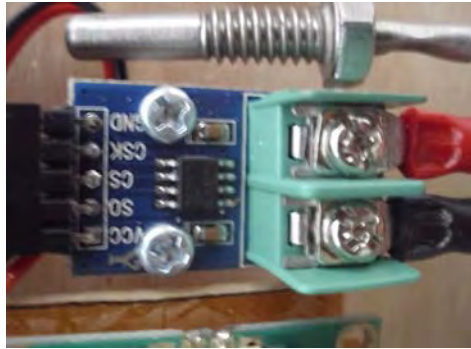
lebar\_objek = ukuran lebar dari objek sebenarnya (mm),

jumlah\_piksel = jumlah piksel dari lebar objek.



Gambar 3.12 Alur Diagram untuk Mendapatkan Sudut Servo





Gambar 3.13 Modul Max 6675 dan Sensor Thermocouple Type K

Selanjutnya adalah menentukan nilai maksimal dan minimal dari sudut motor servo, nilai minimal sudut servo yang dapat menghasilkan api paling kecil adalah  $58^\circ$ , sedangkan maksimalnya adalah  $157^\circ$ . Gambar 3.14 menunjukkan ilustrasi sudut knop kompor ketika  $0^\circ$ ,  $58^\circ$ , dan  $157^\circ$ .



Gambar 3.14. (a) Sudut Servo  $0^\circ$ , (b)  $58^\circ$ , (c)  $157^\circ$

Perintah dalam bentuk listing program adalah sebagai berikut:

- Menentukan error

```
setpoint = deffuzzy
kp = TextBox73.Text
ki = TextBox74.Text
selisih = setpoint - suhu
jumlah_error = selisih + error_lampau
```

Hasil dari defuzifikasi adalah setpoint suhu, selisih akan dikalikan dengan konstanta P, sedangkan jumlah\_error akan dikalikan dengan konstanta I.

- Menentukan sudut servo

```
dobel = (kp * selisih) + (ki * jumlah_error) + 58
```

```

'-----pematik-----
If dobel <= 65 Then
    If dobel <= 58 Then
        dobel = 58
    Else
        dobel = dobel
    End If
    pematik = 1
End If
If dobel >= 157 Then
    dobel = 157
    pematik = 1
End If
If dobel > 65 And dobel < 157 Then
    If pematik = 1 Then
        dobel = 157 'api on
        pematik = 0
    End If
    If pematik = 0 Then
        dobel = dobel
    End If
End If
dobel = 180 - dobel

```

Proses pematik terjadi ketika terjadi transisi dari dobel <65 menjadi dobel >=65. Variabel dobel adalah sudut servo yang harus dikirim ke mikrokontroler.

Sedangkan dalam proses penyimpanan data, seperti data sensor suhu, ADC, dan PWM di dalam komputer dan pengiriman data sudut servo ke mikrokontroler diperlukan komunikasi antara mikrokontroler dan komputer melalui komunikasi serial, dalam penelitian ini menggunakan perintah berikut ini:

- Untuk proses pengiriman data ke mikrokontroler menggunakan perintah:

```

nilai = Math.Round(dobel, 1)
Str = Convert.ToString(nilai)
datakirim = str + "#"
SerialPort1.Write(datakirim)

```

- Sedangkan perintah untuk menerima data dari komputer adalah:

```

void baca_serial()
{
    if (Serial.available()>0)//periksa port serial kosong atau
    tidak
    {
        incomingByte=Serial.read();//baca data serial
    }
}

```

```

if (incomingByte!='#')
{
    array[i]=incomingByte;//setiap karakter disimpan di array
    i++;
}
else
{
    final=atof(array);//konversi dari array ke float
    SetPoint=final/1;
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(180-SetPoint);//tampilkan set point di lcd
    i=0;
    for (int del=0;del<10;del++)//hapus nilai array setal di
stampilkan di lcd
    { array[del]=0;
}}}

```

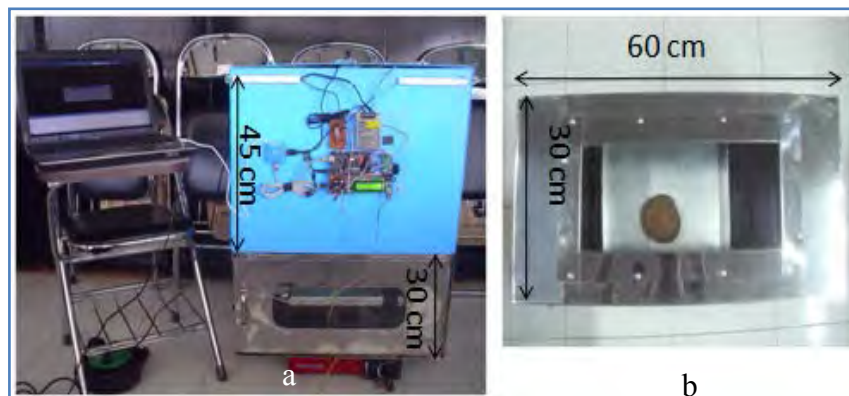
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa dilakukan untuk mengetahui fungsi dari setiap sub sistem yang telah dibuat dan dilakukan menggunakan alat yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pengujian yang dilakukan terdiri dari:

1. Pengujian pembacaan nilai rata-rata R,G, B, dan grayscale
2. Pengujian perhitungan jumlah piksel lebar dan panjang
3. Pengujian konversi jumlah piksel menjadi satuan milimeter
4. Pengujian kontrol cahaya
5. Pengujian pengaruh perubahan suhu terhadap pembacaan lebar dan grayscale roti
6. Pengujian pembacaan lebar dan panjang roti selama pemanggangan
7. Pengujian kontrol proporsional dan proporsional integral
8. Pengujian pemanggangan roti menggunakan lampu fluorescent
9. Pengujian pemanggangan roti menggunakan lampu LED
10. Pengujian pemanggangan roti dengan berat 65 g
11. Pengujian pemanggangan roti dengan berat 100 g
12. Pengujian pemanggangan roti dengan berat 65 g secara paralel
13. Pengujian pemanggangan roti tawar yang telah terpangang
14. Pengujian konsistensi parameter internal dan eksternal dari roti
15. Pengujian Perubahan Nilai Rerata Komponen R, G, B, dan Grayscale pada Roti



Gambar 4.1 (a) Desain Alat, (b) Oven Tampak Atas (Tanpa Kotak)

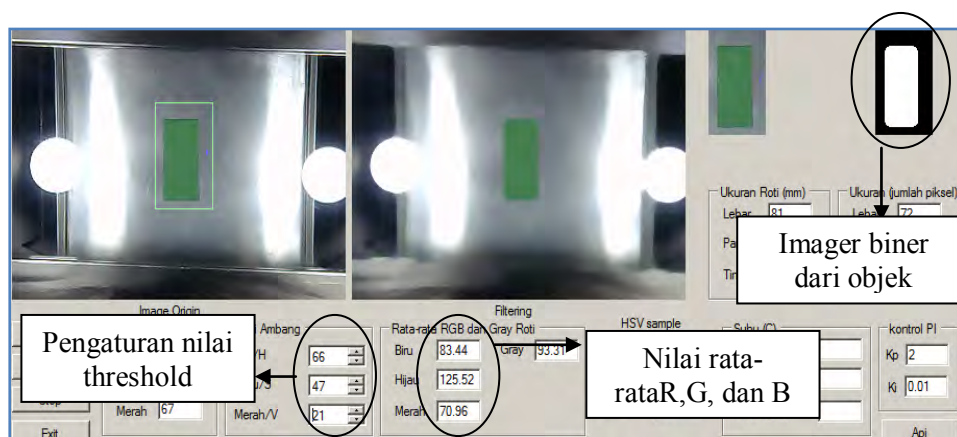
#### 4.1 Pengujian Pembacaan Nilai Rata-rata R,G,B dan Grayscale

Pengujian pembacaan nilai rata-rata R,G,B dan grayscale bertujuan untuk mengetahui keberhasilan algoritma program tentang pembacaan rata-rata grayscale yang telah dibuat, pembacaan nilai rata-rata komponen R,G,B dan grayscale pada suatu image biner akan diaplikasikan untuk proses pembacaan nilai rata-rata grayscale pada roti, nilai rata-rata grayscale roti akan diperoleh dari nilai R, G, dan B pada suatu image roti. Indikator dari keberhasilan sub sistem ini adalah hasil dari pembacaan rata-rata setiap komponen R,G,B dan grayscale pada warna kertas mewakili warna kertas uji keseluruhan.

##### 4.1.1 Prosedur Pengujian

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kertas berwarna merah, hijau, biru, hitam, putih, dan menyeleksi image cahaya putih pada citra secara bergantian.
2. Jarak kamera dengan loyang adalah 52,5 cm
3. Cahaya di dalam kotak adalah konstan.
4. Proses selanjutnya adalah melakukan threshold pada setiap objek pengujian.
5. Kemudian proses pembacaan warna rata-rata dari setiap komponen dan grayscale dilakukan menggunakan algoritma yang telah dibuat

Nilai threshold diatur secara manual sehingga image biner menunjukkan bentuk objek (pada Gambar 4.2 objek berupa kertas warna hijau)



Gambar 4.2 Contoh Pengujian pada Kertas Berwana Hijau

#### 4.1.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1, dan contoh proses percobaan ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari hasil pengujian terlihat bahwa pada kertas hijau memiliki rata-rata komponen warna hijau dengan nilai tertinggi yaitu 125,52, rata-rata komponen warna merah adalah 70,96, rata-rata komponen warna biru adalah 83,44. Kertas warna merah memiliki rata-rata komponen warna merah dengan nilai tertinggi yaitu 135,48, rata-rata komponen warna hijau adalah 54,97, rata-rata komponen warna biru adalah 71,06. Kertas warna biru memiliki rata-rata komponen warna biru dengan nilai tertinggi yaitu 151,72, rata-rata komponen warna hijau adalah 61,2, rata-rata komponen warna merah adalah 36,74. Kertas putih memiliki nilai rata-rata grayscale lebih tinggi dibandingkan kertas warna hitam. Kertas putih memiliki nilai rata-rata grayscale 163,33, terlihat bahwa nilai rata-rata komponen warna merah adalah 154,21, rata-rata nilai komponen warna hijau adalah 162,58, dan rata-rata nilai komponen warna biru adalah 173,19, sedangkan untuk kertas hitam memiliki rata-rata nilai terkecil dibandingkan objek lainnya, yaitu 48,95, dan pengujian pada citra cahaya putih memiliki rata-rata nilai komponen warna merah, hijau, dan biru mendekati 255, sedangkan grayscale rata-rata adalah 253,33. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa algoritma program untuk pembacaan rata-rata warna dapat diterapkan dalam proses pembacaan nilai rata-rata grayscale warna roti.

Tabel 4.1 Data Pengujian Kertas Berwarna dan Cahaya pada Citra

| Percobaan (Warna) | Merah (rerata) | Hijau (rerata) | Biru (rerata) | Grayscale (rerata) |
|-------------------|----------------|----------------|---------------|--------------------|
| Kertas Hijau      | 70,96          | 125,52         | 83,44         | 93,31              |
| Kertas Merah      | 135,48         | 54,97          | 71,06         | 87,17              |
| Kertas Biru       | 36,74          | 61,2           | 151,72        | 83,22              |
| Kertas Putih      | 154,21         | 162,58         | 173,19        | 163,33             |
| Cahaya Putih      | 255            | 252            | 253           | 253,33             |
| Kertas Hitam      | 41,66          | 47,7           | 57,49         | 48,95              |

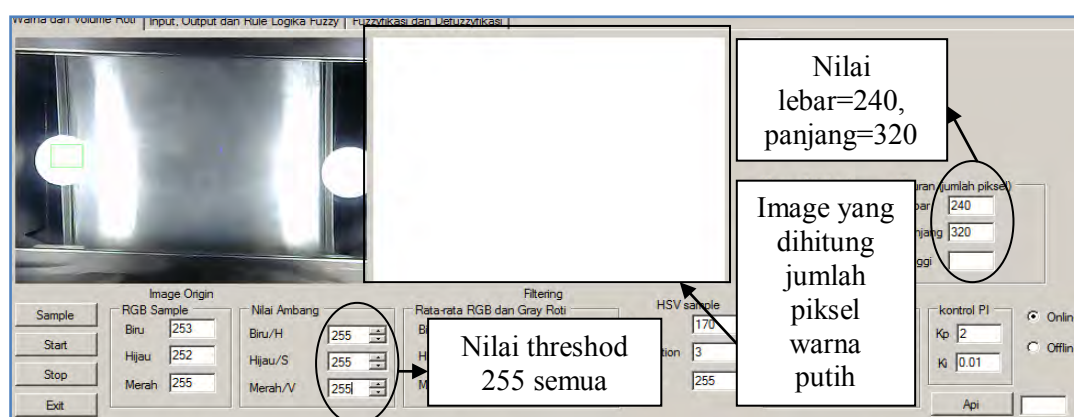
## 4.2 Pengujian Perhitungan Jumlah Pixel Lebar dan Panjang

Pengujian ini bertujuan untuk melihat keberhasilan algoritma program yang telah dibuat untuk membaca jumlah pixel lebar dan panjang roti, hasil pembacaan ini digunakan untuk mendapatkan ukuran panjang dan lebar roti dalam satuan milimeter. Indikator keberhasilan dari pengujian sistem ini adalah algoritma pembacaan jumlah pixel mampu menghitung jumlah pixel warna putih (lebar dan tinggi) pada suatu frame citra ukuran 320x240.

### 4.2.1 Prosedur Pengujian

1. Jarak kamera dengan loyang adalah 52,5 cm
2. Menyiapkan frame citra dalam ukuran 320x240
3. Cahaya di dalam kotak adalah konstan
4. Melakukan ROI pada daerah dengan pixel tertinggi
5. Memasukkan nilai ambang dengan nilai maksimal, sehingga image box berwarna putih.
6. Selanjutnya menggunakan algoritma yang telah dibuat untuk menghitung jumlah pixel warna putih pada frame citra 320x240.

Gambar 4.3. adalah proses pengujian untuk mendapatkan jumlah lebar dan panjang dari roti.



Gambar 4.3 Pengujian Algoritma Pembacaan Jumlah Pixel



#### 4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisa

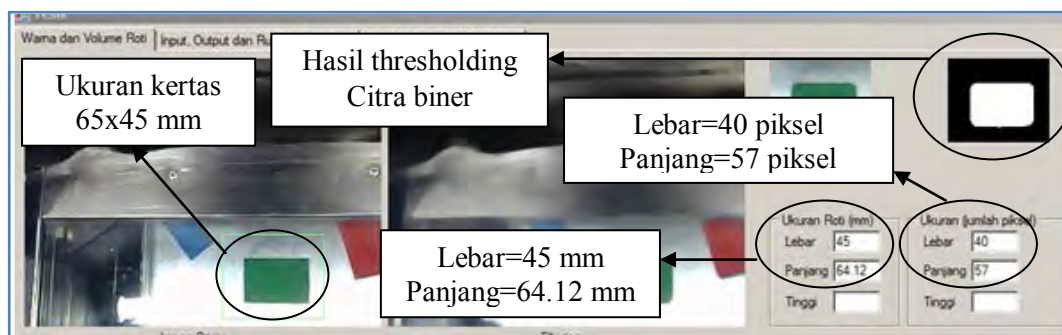
Dari hasil pengujian algoritma pembacaan jumlah piksel menunjukkan bahwa jumlah piksel lebar dari frame yang digunakan sebagai uji coba (seluruh piksel pada frame bernilai 1) adalah 240, dan jumlah piksel panjang adalah 320. Dengan hasil ini menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan sesuai dengan ukuran frame citra yang berwarna putih.

#### 4.3 Pengujian Konversi Jumlah Piksel Menjadi Satuan Milimeter

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran perubahan lebar roti dalam satuan milimeter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kertas dengan ukuran yang sudah diketahui sebagai alat kalibrasi, dari hasil kalibrasi didapat nilai 1,125. Pengujian pada roti dilakukan sebanyak 5 kali menggunakan adonan roti. Indikator keberhasilannya adalah algoritma mampu menunjukkan ukuran roti sesuai dengan ukuran yang sebenarnya.

##### 4.3.1 Prosedur Pengujian

1. Jarak kamera dengan loyang adalah 52,5 cm
2. Menyiapkan kertas dengan ukuran 65x45 mm dan 5 adonan roti
3. Melakukan threshold sehingga menghasilkan citra biner yang sesuai dengan bentuk kertas dan roti sebenarnya, ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 4.4
4. Menyimpan data hasil pengukuran



Gambar 4.4 Contoh Pengujian Konversi Jumlah Piksel Menjadi Satuan Milimeter

#### 4.3.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian menunjukkan lebar kertas adalah 45 mm, dan panjang kertas adalah 64,12 mm, pengujian ini menggunakan 1,125 sebagai nilai kalibrasinya, ada selisih antara ukuran panjang kertas sesungguhnya dengan hasil pengukuran menggunakan kamera yaitu sekitar 0,88 mm. Untuk jumlah piksel lebarnya adalah 40 dan panjangnya adalah berjumlah 57 piksel. Selain melakukan pengujian pada kertas, pengujian juga dilakukan pada roti. Tabel 4.2 adalah hasil dari pengujian yang dilakukan pada roti pada saat berupa adonan dan ketika sudah matang, terlihat bahwa nilai error terbesar pembacaan pengukuran oleh kamera adalah 8 %, yaitu pada pengujian ke-4 ketika roti telah mengalami proses pemanggangan, sedangkan pengukuran lebar roti terlihat akurat ketika pengujian ke-1 pada saat roti berupa adonan dan pada pengujian ke-3 ketika roti berada dalam kondisi akhir.

Tabel 4.2 Data Pengujian Ukuran Roti

| Pengujian | Pengukuran kamera (mm) |             | Pengukuran secara visual (mm) |             | Error (%) |             |
|-----------|------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-----------|-------------|
|           | Adonan                 | Hasil Akhir | Adonan                        | Hasil Akhir | Adonan    | Hasil Akhir |
| 1         | 69,75                  | 77          | 70                            | 75          | 0,35      | 2,6         |
| 2         | 64,12                  | 73,1        | 65                            | 70          | 1,35      | 4,4         |
| 3         | 58,5                   | 67,5        | 55                            | 68          | 6,3       | 0,73        |
| 4         | 42,75                  | 50,62       | 40                            | 55          | 6,8       | 7,9         |
| 5         | 63                     | 74,25       | 60                            | 73          | 5         | 1,71        |



Gambar 4.5 Contoh Proses Pengukuran pada Roti

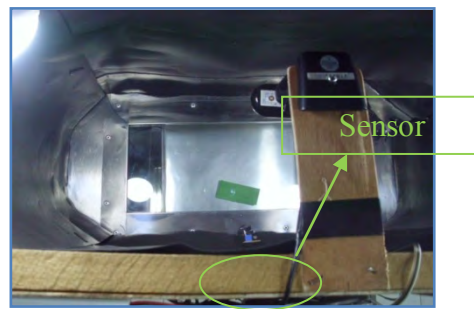
#### **4.4 Pengujian Kontrol Cahaya**

Pengujian bertujuan untuk mengontrol cahaya pada kotak. Pengujian pertama menentukan penggunaan ADC 8 atau 10 bit, dari hasil pengujian ini akan digunakan untuk menentukan pemakaian pembacaan ADC untuk pembacaan cahaya di dalam kotak, resolusi yang akan digunakan adalah resolusi yang menghasilkan respon pembacaan ADC yang stabil ketika mendapat kenaikan PWM sebesar 1.

Indikator keberhasilan dari algoritma kontrol cahaya adalah algoritma dapat mengontrol cahaya di dalam kotak, sehingga ketika ada gangguan (kotak terbuka kecil dan besar) yang membuat intensitas cahaya di dalam kotak berubah tetap tidak membuat proses pembacaan parameter grayscale dan lebar roti tidak terganggu.

##### **4.4.1 Prosedur Pengujian**

1. Pembacaan ADC menggunakan 8 bit lalu menggunakan 10 bit.
2. Menggunakan rangkaian sensor cahaya (Gambar 3.4) dan rangkaian kontrol cahaya (Gambar 3.5)
3. Rangkaian sensor cahaya untuk pembacaan tegangan analog berada di dalam kotak (Gambar 4.6)
4. PWM untuk lampu LED ditambah 1 setiap detik untuk mengetahui respon pembacaan ADC
5. Mengimplementasikan algoritma kontrol cahaya yang telah dibuat (Gambar 3.6)
6. Melakukan gangguan dengan cara membuka atap kotak kecil dan lebar (Gambar 4.7 dan 4.8)
7. Melihat perubahan parameter grayscale dan lebar dari sebuah objek ketika menggunakan kontrol dan tidak menggunakan kontrol



Gambar 4.6 Tempat Sensor Cahaya



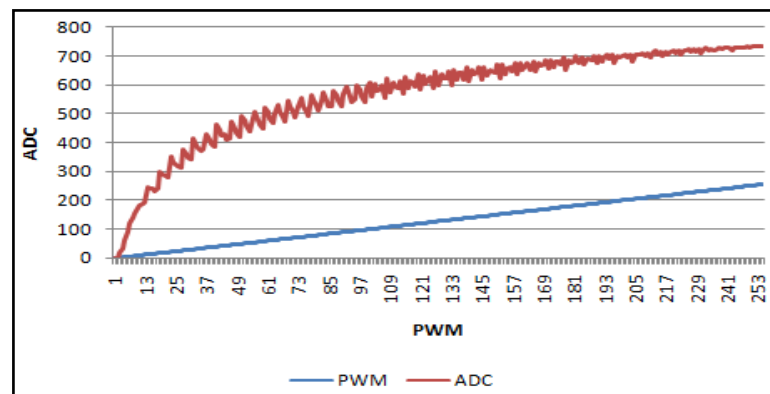
Gambar 4.7 Atap Kotak Dibuka Besar



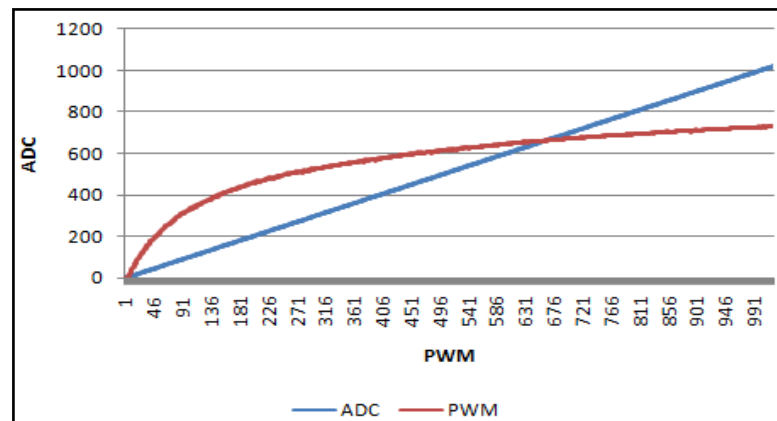
Gambar 4.8 Atap Kotak Dibuka Kecil

#### 4.4.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan terdapat perbedaan antara ketika menggunakan 8 bit dan 10 bit ADC, terlihat bahwa ketika menggunakan ADC 8 bit, respon ADC tidak stabil, terlihat naik turun, sehingga hal ini akan mengganggu pembacaan parameter grayscale dan lebar selama pemangangan. Sedangkan untuk 10 bit ADC terlihat kenaikannya lebih stabil dari pada ADC 8 bit.



Gambar 4.9 Pengukuran Nilai ADC Ketika Menggunakan 8 Bit

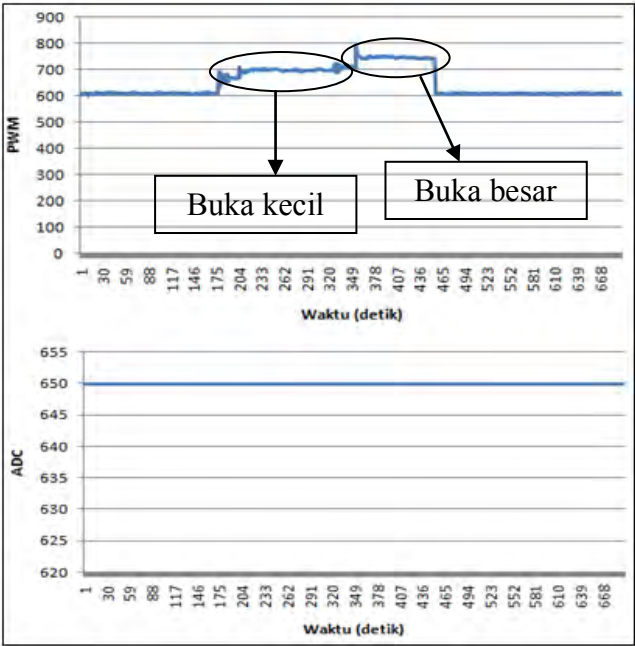


Gambar 4.10 Pengukuran Nilai ADC Ketika Menggunakan 10 Bit

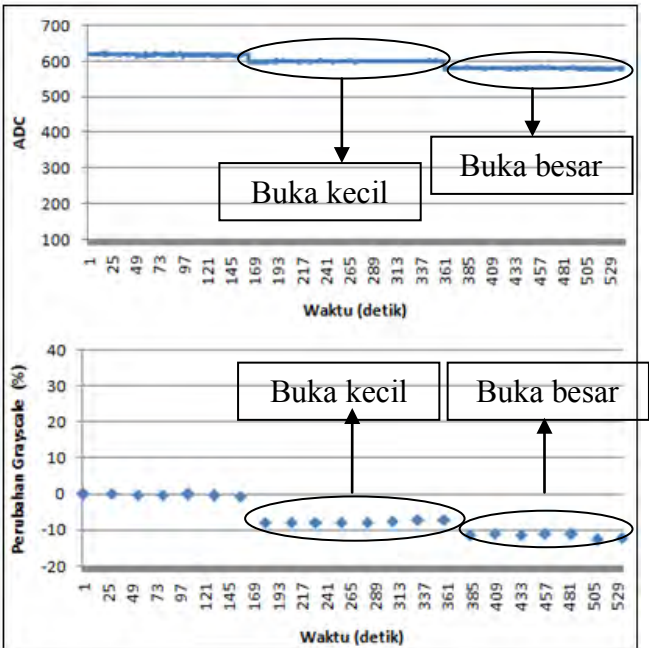
Selanjutnya adalah mengetahui respon dari nilai pwm ketika kotak dibuka kecil dan dibuka besar (Gambar 4.11), terlihat bahwa nilai adc terbaca konstan walaupun ada gangguan berupa terbukanya atap kotak. Atap kotak dibuka kecil menghasilkan nilai pwm yang meningkat disekitar 700, sedangkan ketika atap dibuka besar nilai pwm lebih besar dibandingkan ketika atap dibuka kecil yaitu disekitar 750.

Gambar 4.12 dan 4.13 menunjukkan respon pembacaan perubahan grayscale dan lebar dari sebuah objek berupa kertas ketika pengujian tidak menggunakan kontrol cahaya. Terlihat bahwa pembacaan perubahan grayscale terganggu dengan adanya gangguan yang berupa terbukanya tutup kotak, dan nilai grayscale menurun tinggi ketika tutup kotak terbuka besar dan menurun rendah ketika tutup kotak terbuka kecil, hal ini dikarenakan objek tidak menerima

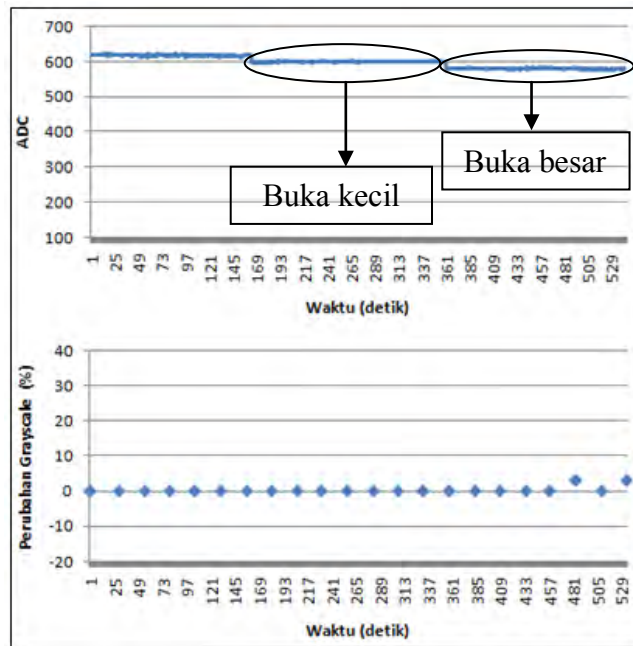
intensitas cahaya secara maksimal dari lampu penerangan dalam kotak. Sedangkan pembacaan perubahan lebar objek tidak terlihat terganggu walaupun ada gangguan berupa terbukanya tutup dari kotak.



Gambar 4.11 Respon Nilai ADC Ketika Atap Kotak Dibuka

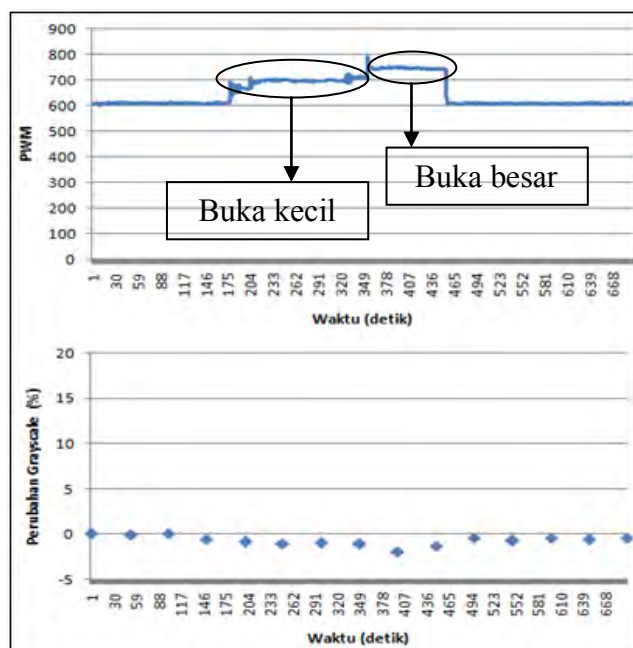


Gambar 4.12 Respon Perubahan Grayscale Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Tanpa Kontrol Cahaya

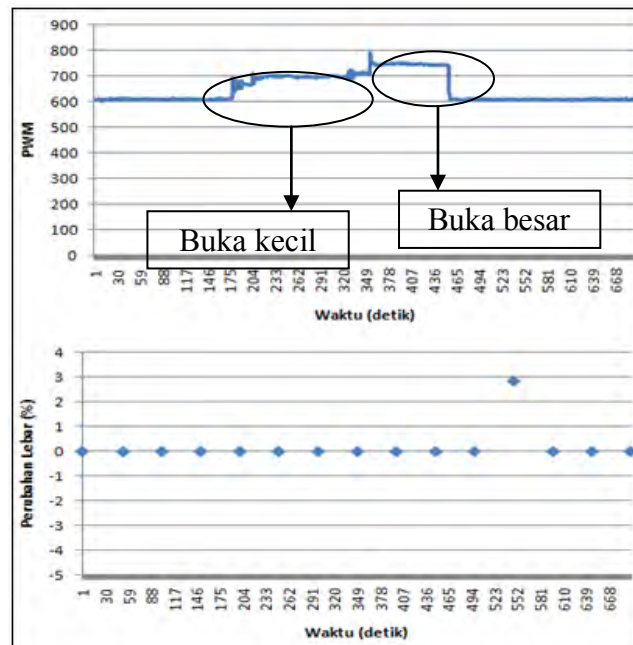


Gambar 4.13 Respon Perubahan Lebar Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Tanpa Kontrol Cahaya

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh perubahan grayscale saat atap kotak dibuka, terlihat bahwa pembacaan perubahan grayscale tidak mengalami perubahan walaupun ada gangguan yaitu berupa terbukanya atap dari kotak.



Gambar 4.14 Respon Perubahan Grayscale Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Menggunakan Kontrol Cahaya



Gambar 4.15 Respon Perubahan Lebar Ketika Atap Kotak Dibuka Ketika Menggunakan Kontrol Cahaya

Gambar 4.15 menunjukkan respon pembacaan perubahan lebar saat tutup kotak dibuka kecil dan besar, terlihat dari grafik bahwa gangguan terbukanya tutup kotak tidak mempengaruhi pembacaan perubahan lebar.

#### 4.5 Pengujian Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Pembacaan Lebar dan Grayscale Roti

Pengujian bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perubahan suhu terhadap pembacaan parameter grayscale dan lebar. Pembacaan parameter grayscale dan lebar diharapkan tidak terpengaruh akibat dari perubahan suhu udara oven, sehingga pembacaan parameter grayscale dan lebar roti adalah dalam keadaan sebenarnya.

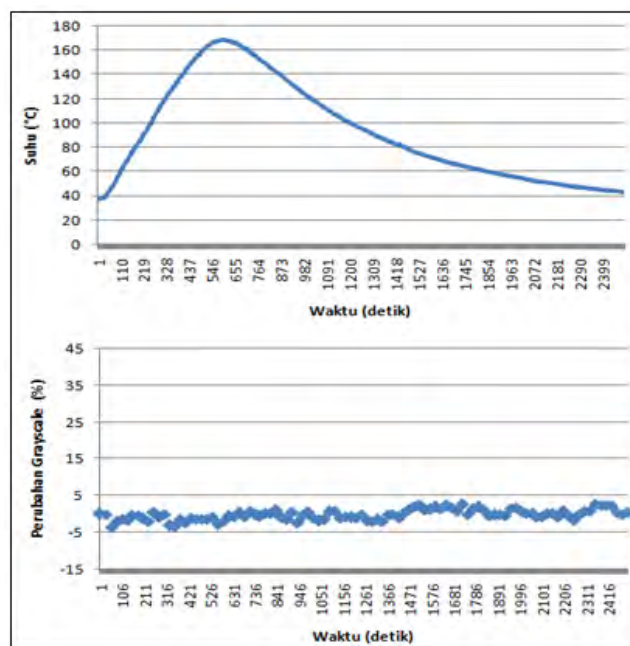
##### 4.5.1 Prosedur Pengujian

1. Memasukkan objek besi kedalam oven
2. Melakukan pemanggangan besi sampai suhu melebihi 160° C
3. Menyimpan data hasil pengujian untuk dianalisa

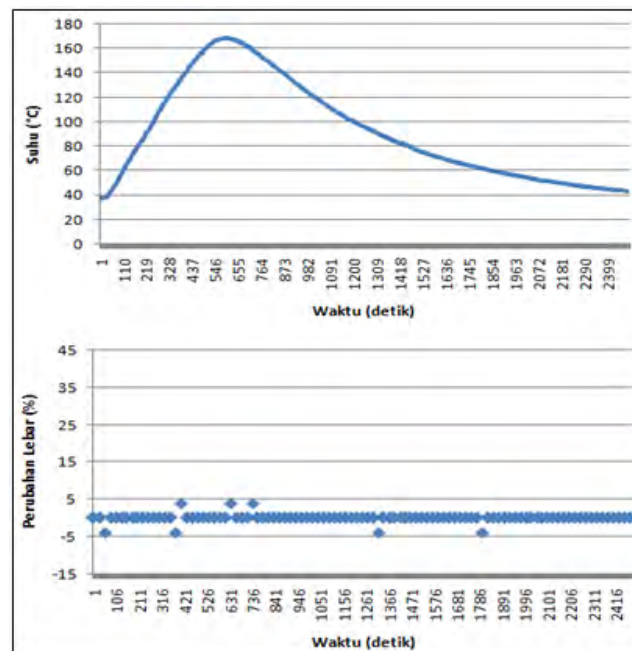


#### 4.5.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil Pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17. Gambar 4.16 menunjukkan pengaruh dari pembacaan perubahan grayscale oleh kamera ketika ada perubahan suhu udara oven, terlihat bahwa selama terjadi perubahan suhu udara oven mulai dari sekitar 37° C sampai suhu di atas 160° C dan suhu turun disekitar 30° C pembacaan kamera terhadap perubahan grayscale dari objek terlihat konsisten disekitar nilai antara -2 % sampai 3 %. Sedangkan Gambar 4.17 menunjukkan pengaruh dari pembacaan perubahan lebar oleh kamera ketika ada perubahan suhu udara oven, hampir sama dengan kondisi pembacaan perubahan grayscale, pembacaan perubahan lebar juga tidak mengalami perubahan yang signifikan. Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa selama terjadi perubahan suhu di dalam oven atau selama terjadi proses pemanggangan roti, proses pembacaan parameter grayscale dan lebar dari roti tidak akan terganggu.



Gambar 4.16 Respon Perubahan Grayscale Objek Besi Ketika Terjadi Perubahan Suhu



Gambar 4.17 Respon Perubahan Lebar Objek Besi Ketika Terjadi Perubahan Suhu

#### 4.6 Pengujian Pembacaan Lebar dan Panjang Roti Selama Pemanggangan

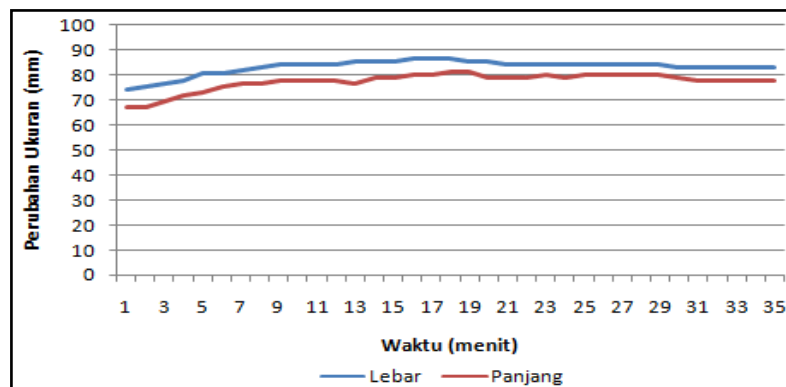
Pengujian ini bertujuan untuk melihat perbandingan antara perubahan panjang dan lebar dari roti, sehingga dari hasil pengujian dapat menentukan parameter yang digunakan sebagai input logika fuzzy.

##### 4.6.1 Prosedur Pengujian

- 1 Melakukan proses ROI untuk roti yang akan dipanggang.
- 2 Melakukan pemanggangan.
- 3 Mengamati perubahan pada citra selama proses pemanggangan dan menyimpan perubahan lebar dan panjang roti selama pemanggangan.

##### 4.6.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.18, hasil pengujian menunjukkan perubahan panjang dan lebar roti selama pemanggangan. Dari gambar 4.18 terlihat juga bahwa perubahan ukuran lebar dan panjang roti linier, sehingga input logika fuzzy yang digunakan dapat menggunakan parameter lebar atau panjang.



Gambar 4.18 Perubahan Lebar dan Panjang dari Roti

#### 4.7 Pengujian Kontrol Proporsional dan Proporsional Integral

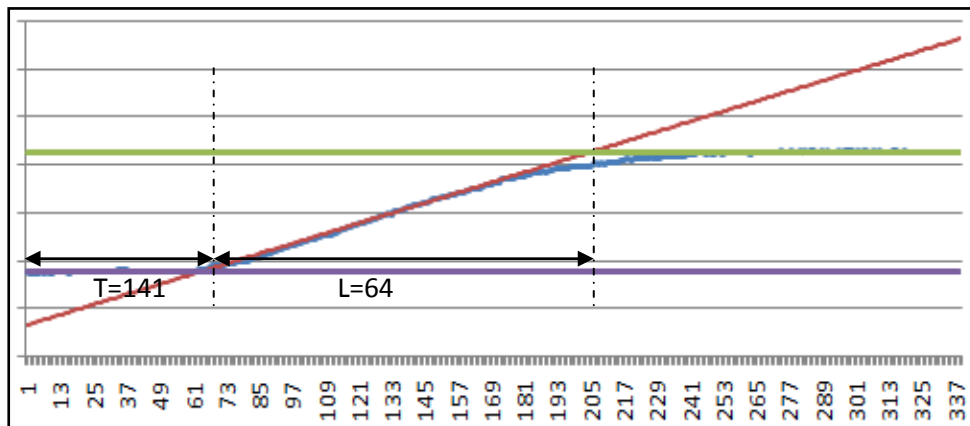
Pengujian kontrol proporsional dan proporsional integral bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sistem dapat mencapai suhu setpoint dan perbandingan antara ketika menggunakan kontrol proporsional dan ketika menggunakan kontrol proporsional dan integral.

##### 4.7.1 Prosedur Pengujian

1. Melalui program antar muka yang ada dikomputer, nilai setpoint suhu yang diinginkan diberikan.
2. Sistem pemanas diuji dengan setpoint suhu  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $160^{\circ}\text{C}$ , dan  $190^{\circ}\text{C}$ .
3. Menggunakan kontrol P ( $P=2,2$ ) dan kontrol PI ( $P=2$  dan  $I=0.01$ ) yang diperoleh dari hasil tuning Ziegler-Nichols.
4. Pengamatan untuk setiap perubahan suhu diamati dengan menggunakan program antar muka yang ada di komputer.

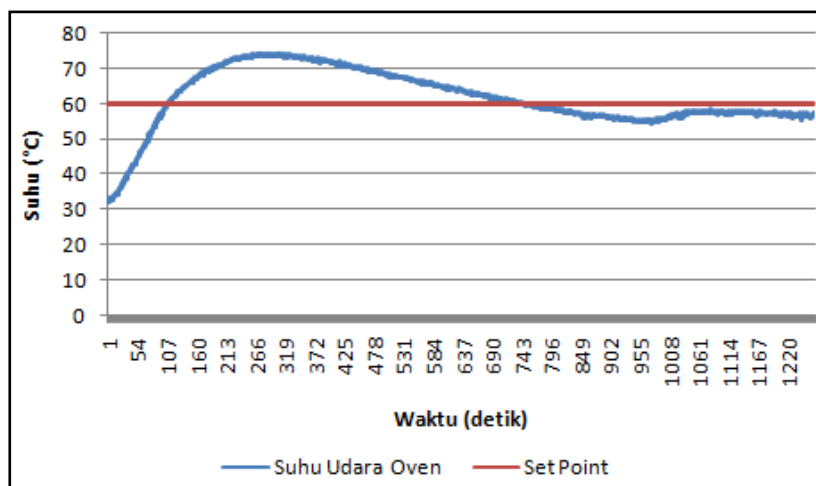
##### 4.7.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.19 menunjukkan grafik kenaikan suhu ketika diberikan fungsi step. Dari grafik tersebut didapat nilai parameter L dan T, nilai L adalah 64 dan nilai T yang didapat adalah 141. Parameter tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta P dan I. Dari grafik terlihat suhu sampai ke dalam keadaan stabil membutuhkan waktu 205 detik.

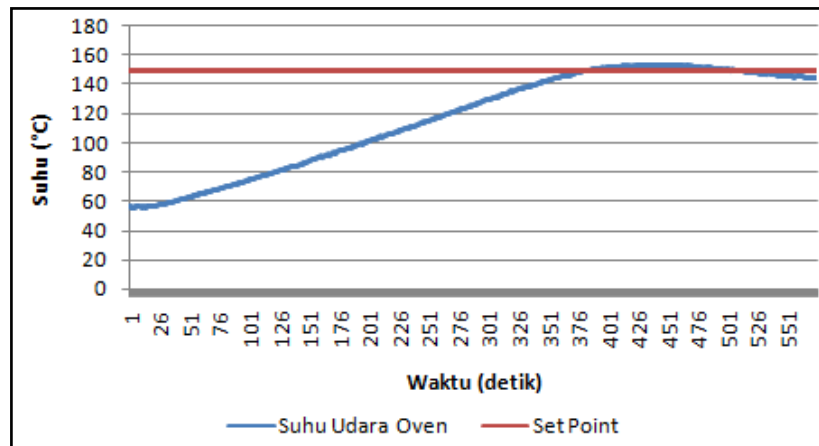


Gambar 4.19 Grafik Kenaikan Suhu ketika Diberi Input Step

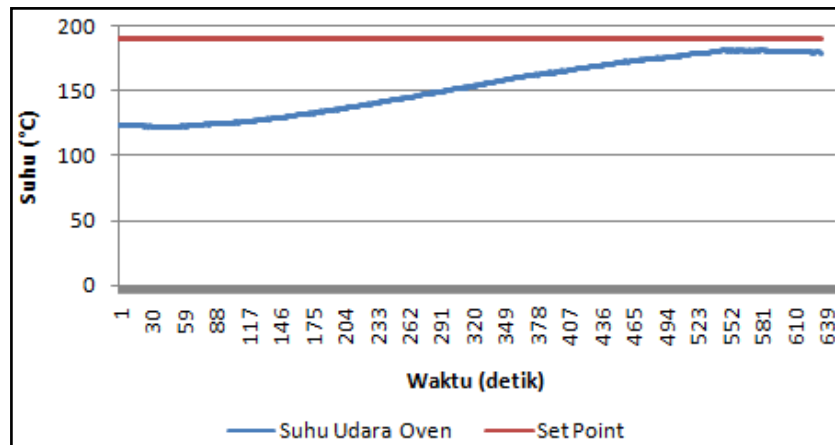
Gambar 4.20 sampai 4.22 menunjukkan hasil dari respon suhu ketika menggunakan kontrol P. Tabel 4.3 menunjukkan hasil dari kontrol P pada setiap setpoint yang digunakan. Terlihat bahwa ketika setpoint  $60^{\circ}\text{C}$  terjadi overshoot yang lebih tinggi dibandingkan ketika setpoint suhu  $150^{\circ}\text{C}$  dan  $190^{\circ}$ . Sedangkan steady state error pada setpoint  $150^{\circ}\text{C}$  adalah paling kecil diantara dua setpoint lainnya.



Gambar 4.20 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint  $60^{\circ}\text{C}$  Menggunakan Kontrol Proporsional



Gambar 4.21 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 150° C Menggunakan Kontrol Proporsional



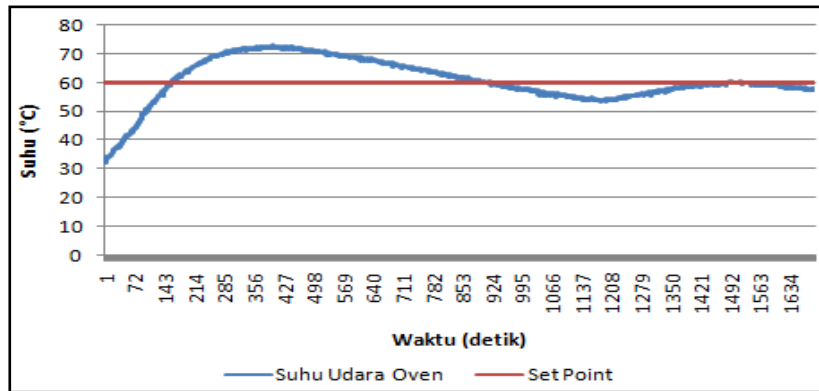
Gambar 4.22 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint 190° C Menggunakan Kontrol Proporsional

Tabel 4.3 Data pengujian dari kontrol P

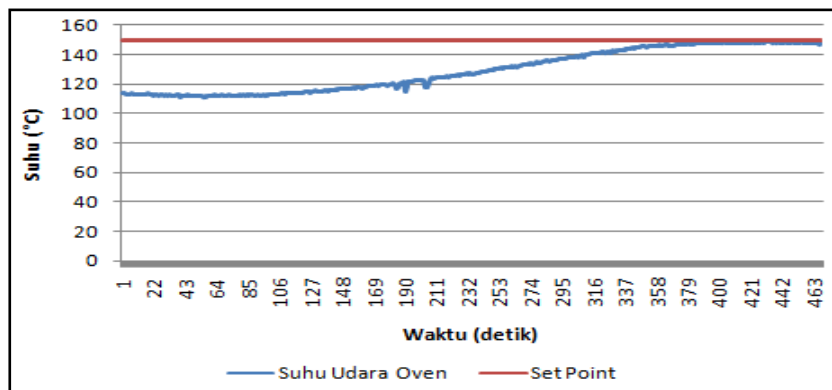
| Set Point (°C) | Overshoot | Steady state error |
|----------------|-----------|--------------------|
| 60             | 23 %      | 5 %                |
| 150            | 2,5 %     | 3,3 %              |
| 190            | -         | 5.1 %              |

Gambar 4.23 sampai 4.25 menunjukkan hasil dari respon suhu ketika menggunakan kontrol PI. Tabel 4.4 menunjukkan hasil dari kontrol PI pada setiap setpoint yang digunakan. Terlihat bahwa ketika setpoint 60° C terjadi overshoot yang lebih tinggi dibandingkan ketika setpoint suhu 150° C dan 190°. Sedangkan

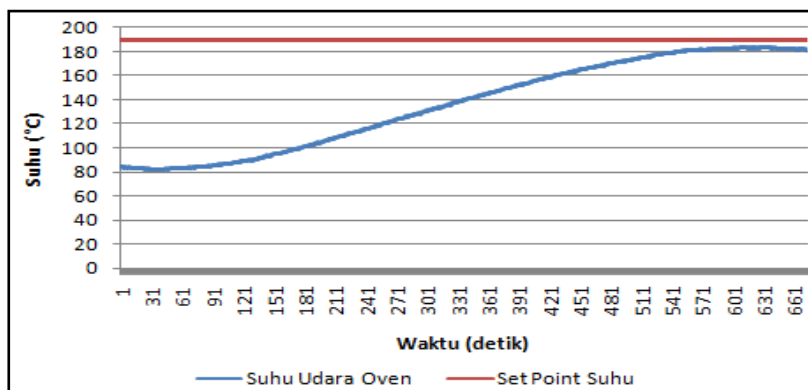
steady state error pada setpoint  $150^{\circ}\text{C}$  adalah paling kecil diantara dua setpoint lainnya.



Gambar 4.23 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint  $60^{\circ}\text{C}$  Menggunakan Kontrol PI



Gambar 4.24 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint  $150^{\circ}\text{C}$  Menggunakan Kontrol PI



Gambar 4.25 Grafik Kenaikan Suhu Ketika Setpoint  $190^{\circ}\text{C}$  Menggunakan Kontrol PI

Tabel 4.4 Data Pengujian dari Kontrol PI

| Set Point (°C) | Overshoot | Steady state error |
|----------------|-----------|--------------------|
| 60             | 21,6 %    | 4,1 %              |
| 150            | -         | 1,3 %              |
| 190            | -         | 4,4 %              |

Dari dua pengujian yaitu kontrol P dan kontrol PI terlihat bahwa untuk overshoot dan steady state error ketika menggunakan kontrol PI lebih baik dibandingkan ketika menggunakan kontrol P karena komponen pada kontrol P dapat mengurangi error stady state dan sedikit mengurangi overshoot.

#### 4.8 Pengujian Pemanggangan Roti Menggunakan Lampu Fluorescent

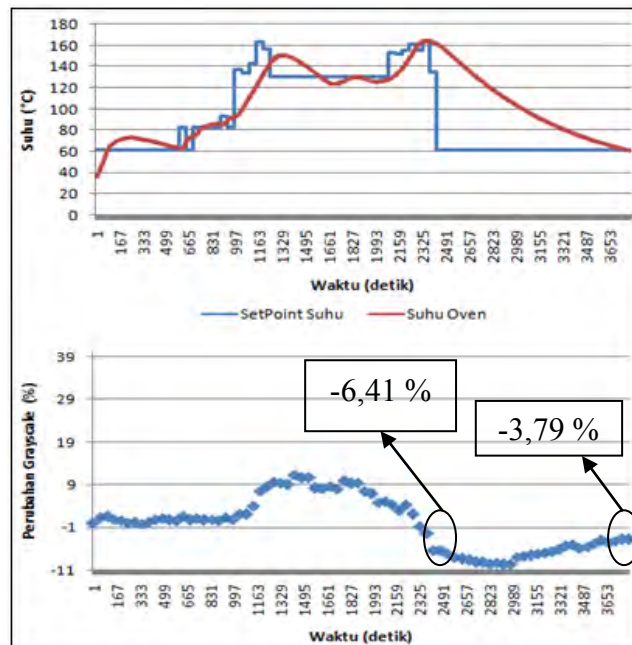
Pengujian dilakukan untuk melihat perubahan parameter grayscale dan lebar roti selama pemanggangan, dan pengaruh pada pembacaan grayscale dan lebar roti ketika menggunakan lampu fluorescent.

##### 4.8.1 Prosedur Pengujian

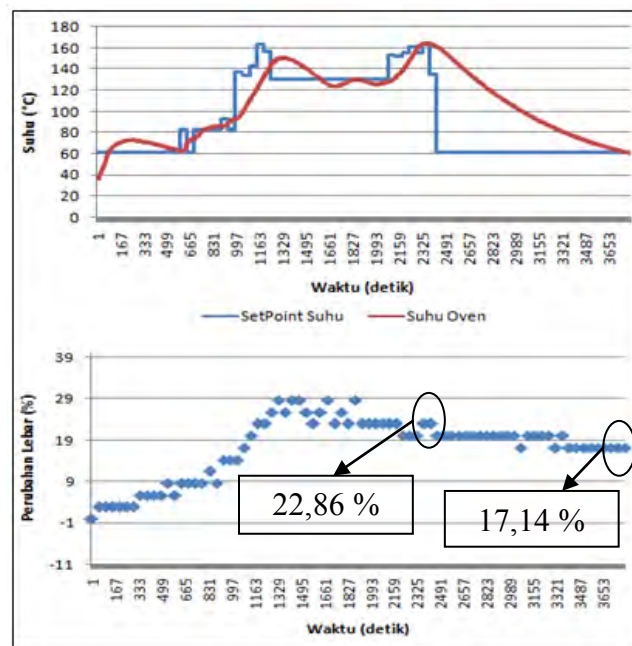
1. Adonan roti dimasukkan ke dalam oven
2. Proses pemanggangan menggunakan kontrol suhu PI
3. Lampu penerangan yang digunakan adalah lampu jenis fluorescent
4. Setpoint suhu menjadi 60° C ketika grayscale roti sampai 6 % lebih gelap dari keadaan awal.

##### 4.8.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.26 menunjukkan perubahan grayscale menjadi lebih putih ketika warna roti telah mencapai 6 % lebih gelap dari keadaan awal. Dari Gambar 4.26 terlihat hasil yang kurang tepat karena grayscale roti seharusnya konstan pada grayscale lebih gelap 6% dari keadaan awal. Sedangkan pada Gambar 4.27 menunjukkan perubahan lebar roti selama pemanggangan, terlihat bahwa perubahan lebar roti secara signifikan terjadi ketika suhu berada pada sekitar 140° C. Lebar roti bertambah menjadi 17,14 % dari keadaan awal ketika pemanggangan dilakukan sampai suhu berada disekitar 60° C. Lebar roti bertambah menjadi 22,86 % ketika set point suhu tidak berubah menjadi 60 ° C.

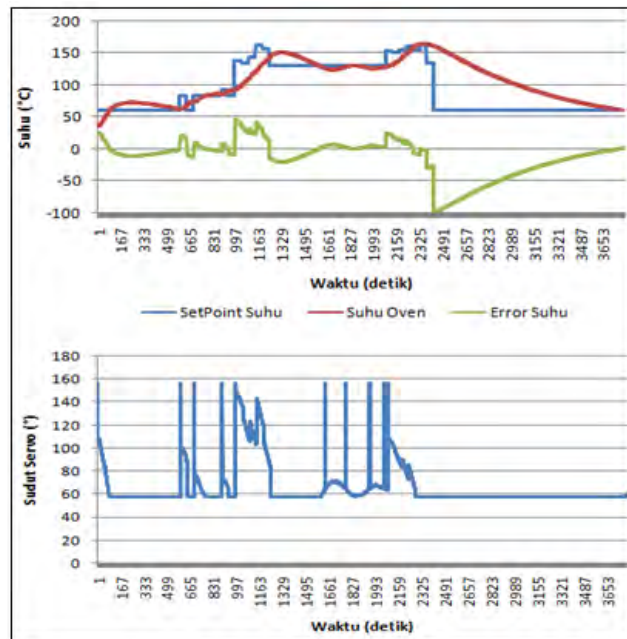


Gambar 4.26 Perubahan Grayscale Roti Selama Pemanggangn Ketika Menggunakan Lamu Fluorescent Sebagai Penerangan



Gambar 4.27 Perubahan Lebar Roti Selama Pemanggangn Ketika Menggunakan Lampu Fluorescent Sebagai Penerangan





Gambar 4.28 Perubahan Sudut Servo Selama Pemanggangn

Pengujian ini menunjukkan bahwa ketika roti sudah mencapai keadaan matang namun roti masih di dalam oven, roti akan mengalami penyusutan ukuran. Sehingga sistem oven harus memiliki alarm untuk memberikan indikator bahwa roti harus segera dikeluarkan dari oven.

#### 4.9 Pengujian Pemanggangn Roti Menggunakan Lampu LED

Pengujian dilakukan untuk melihat perubahan parameter grayscale dan lebar roti selama pemanggangn, dan melihat pengaruh pada pembacaan grayscale dan lebar roti ketika menggunakan lampu LED

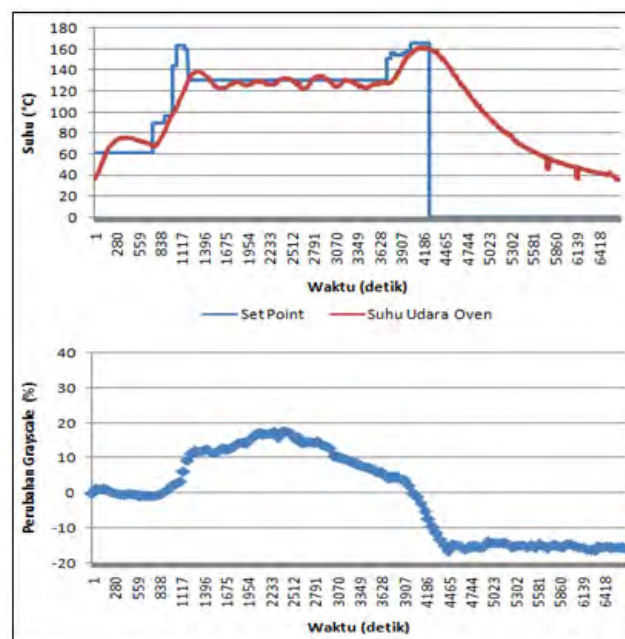
##### 4.9.1 Prosedur Pengujian

1. Adonan roti dimasukkan ke dalam oven
2. Proses pemanggangn menggunakan kontrol PI
3. Lampu penerangan yang digunakan adalah lampu jenis LED
4. Setpoint suhu menjadi 0° C ketika grayscale roti sampai 6 % lebih gelap dari sebelumnya

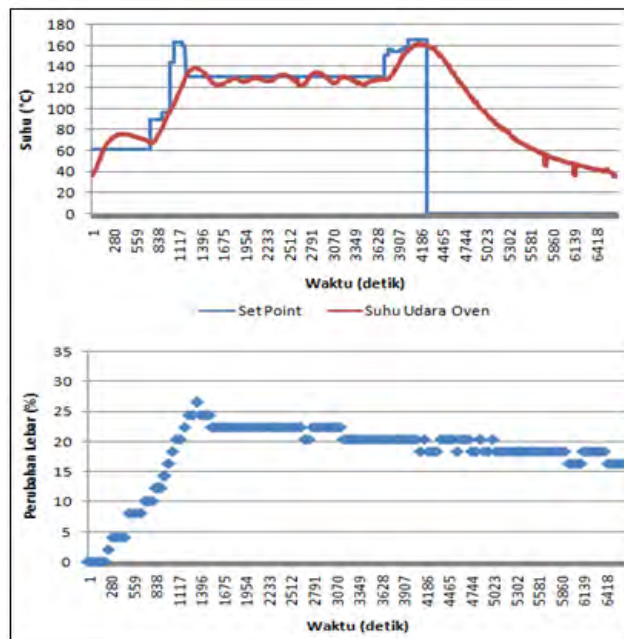
#### 4.9.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Berbeda ketika tidak menggunakan lampu Fluorescent sebagai penerangan, lampu LED memberikan hasil yang lebih baik ketika proses pembacaan parameter grayscale dan lebar roti selama pemanggangan.

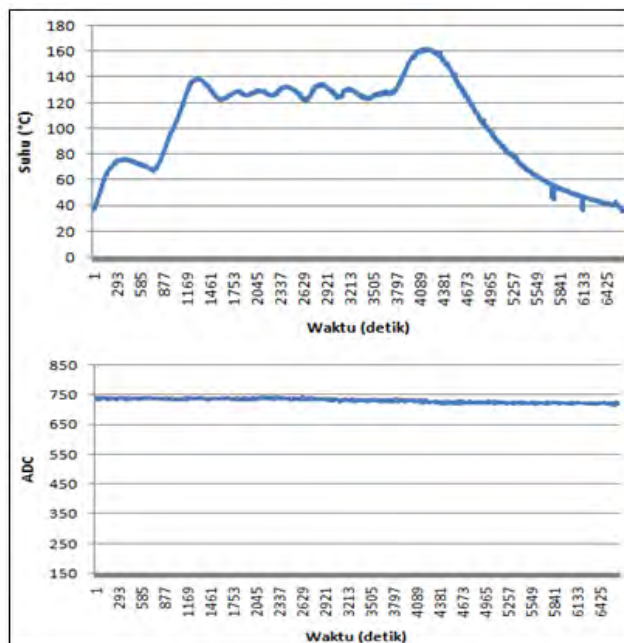
Gambar 4.29 menunjukkan bahwa grayscale roti terlihat konstan ketika setpoint suhu menjadi 0, hal ini menunjukkan bahwa lampu LED tidak memperngaruhi pembacaan parameter grayscale selama pemanggangan. Begitu juga pada Gambar 4.30, pembacaan parameter lebar roti tidak terlihat mengalami perubahan lebih lebar secara signifikan ketika setpoint suhu 0, atau ketika suhu oven menuju suhu 0° C setelah berada pada nilai suhu tertinggi, karakter pembacaan lebar roti memiliki karakter yang sama dengan ketika menggunakan lampu fluorecent sebagai penerangannya, yaitu lebar roti mengalami penyusutan ketika suhu mulai turun menuju suhu terendah.



Gambar 4.29 Perubahan Grayscale Roti Selama Pemanggangan Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan



Gambar 4.30 Perubahan Lebar Roti Selama Pemangangan Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan



Gambar 4.31 Pengukuran Nilai ADC Sensor Cahaya Terhadap Perubahan Suhu Ketika Menggunakan Lampu LED Sebagai Penerangan

Gambar 4.31 menunjukkan perubahan nilai ADC selama perubahan suhu udara oven, terlihat bahwa selama perubahan suhu nilai ADC tidak mengalami

perubahan secara signifikan, hal ini menunjukkan bahwa cahaya pada kotak tidak mengalami perubahan yang mengganggu pembacaan parameter input.

Sehingga dari hasil pengujian 8 dan 9 menunjukkan bahwa pemakaian lampu LED lebih baik dari lampu fluorescent. Lampu LED tidak mengganggu dalam proses pembacaan parameter grayscale dan lebar dari roti.

#### 4.10 Pengujian Pemanggang Roti dengan Berat 65 g

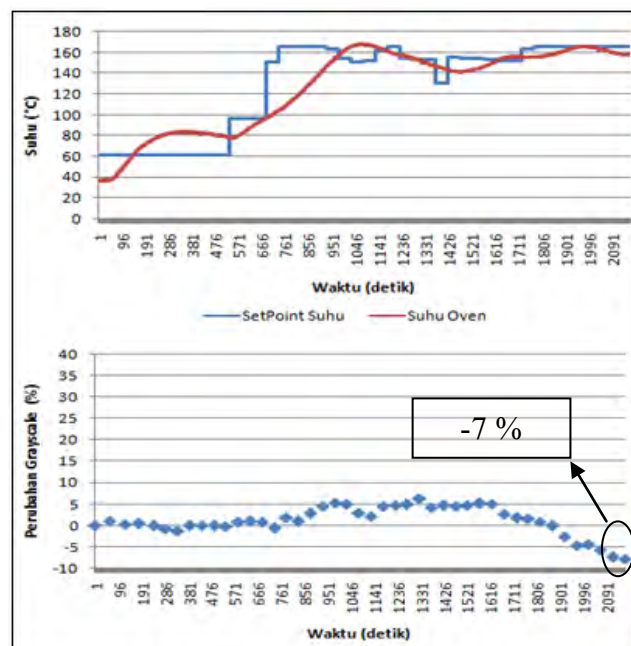
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perbedaan parameter akhir roti antara ketika menggunakan kontrol suhu udara oven dan ketika tidak menggunakan kontrol suhu udara oven.

##### 4.10.1 Prosedur Pengujian

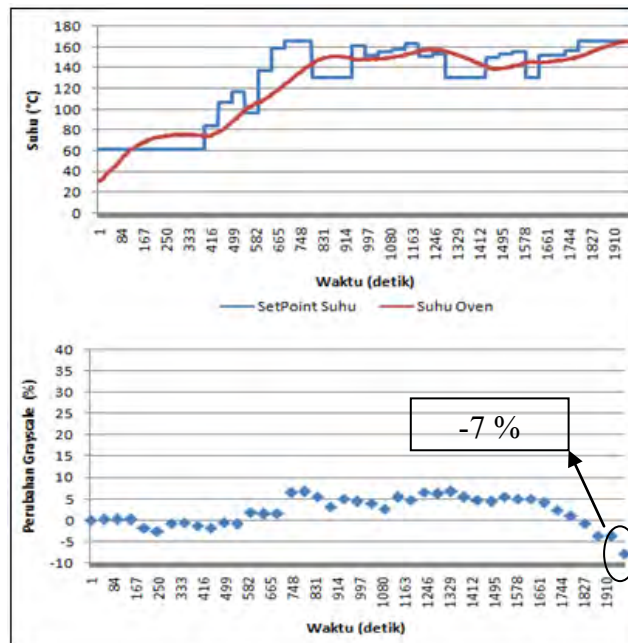
1. Melakukan proses pemanggang roti sebanyak tiga kali
2. Pengujian pertama dan kedua menggunakan kontrol suhu
3. Pengujian ketika tidak menggunakan kontrol suhu

##### 4.10.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Percobaan pertama dan kedua menggunakan kontrol suhu. Gambar 4.32 dan 4.33 menunjukkan perubahan grayscale terhadap suhu.



Gambar 4.32. Perubahan Grayscale Roti Terhadap Suhu (Percobaan 1)

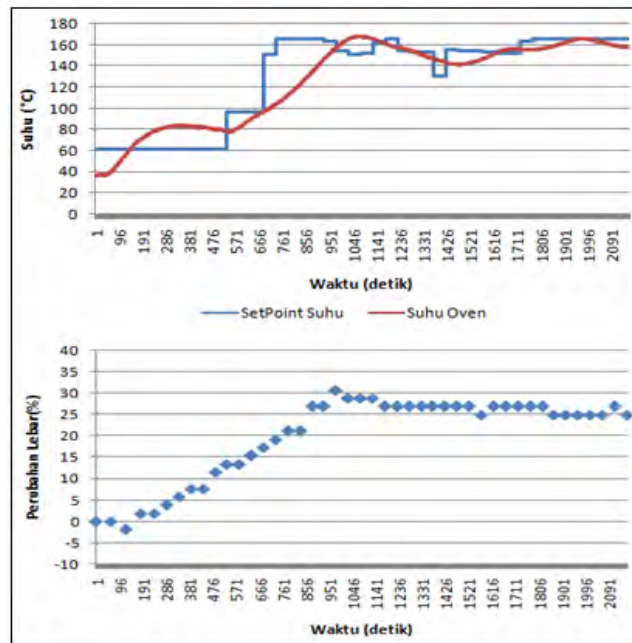


Gambar 4.33. Perubahan Grayscale Roti Terhadap Suhu (Percobaan 2)

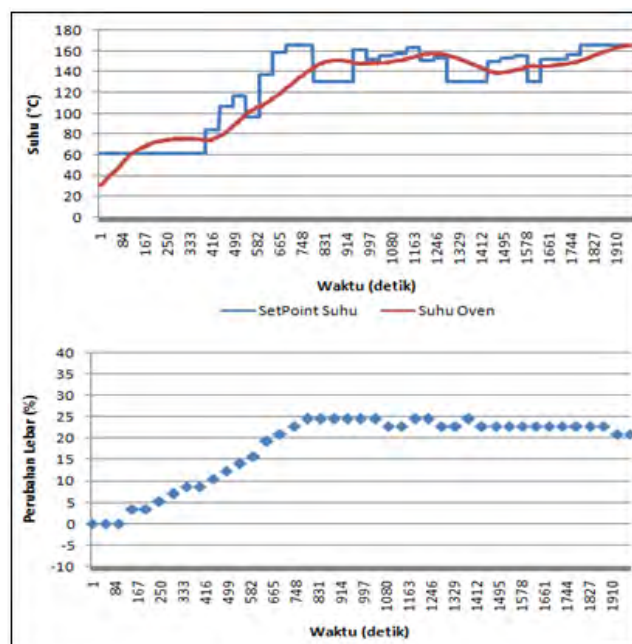
Dari Gambar 4.32 dan 4.33, terlihat bahwa perubahan grayscale berubah secara signifikan ketika suhu oven berada di atas 150° C.

Gambar 4.34 dan 4.35 menunjukkan perubahan lebar terhadap suhu, terlihat bahwa perubahan lebar roti berubah menjadi lebih besar secara signifikan ketika suhu berada di bawah 150° C. Waktu yang diperlukan roti untuk mencapai ukuran maksimal adalah sekitar 800 detik, sedangkan waktu yang diperlukan roti untuk mencapai perubahan grayscale roti adalah 1300 detik, jadi waktu yang dibutuhkan roti untuk mengalami perubahan grayscale lebih lama dari proses perubahan lebar roti untuk mencapai maksimal.

Sedangkan ketika suhu berada di atas 150° C, ukuran roti mengalami penyusutan. Dari kedua percobaan terlihat setpoint suhu awal pemanggangan adalah 60° C, hal ini terjadi ketika penambahan lebar roti masih di bawah 10% dari keadaan awal dan grayscale masih relatif tidak berubah dari kondisi awal. Setelah kondisi tersebut terjadi, setpoint suhu mulai berubah lebih tinggi, suhu diantara 100° C dan 140° C menyebabkan grayscale roti berubah 5 % lebih putih dari dari kondisi awal secara signifikan. Grayscale roti tidak mengalami perubahan secara signifikan pada suhu diantara 140° C dan 150° C.



Gambar 4.34. Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 1)



Gambar 4.35. Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 2)

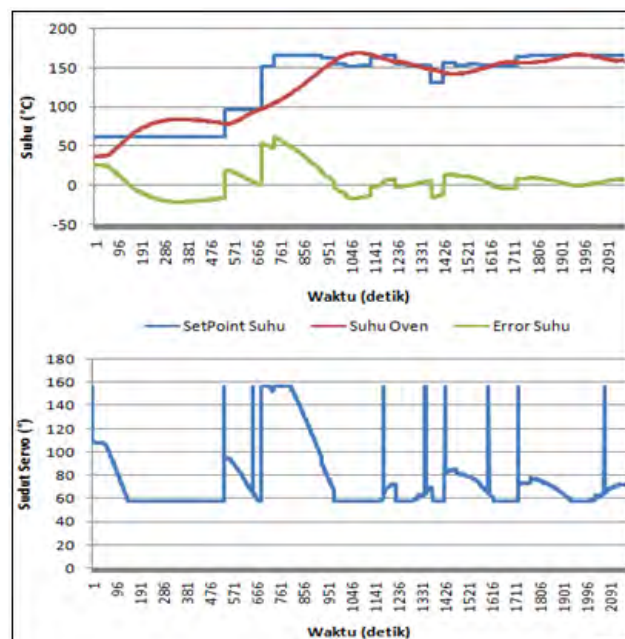
Setpoint suhu di atas 150° terjadi ketika grayscale roti berada disekitar 3 % lebih gelap dari kondisi awal dan ukuran roti lebih besar di atas 21 %, dan



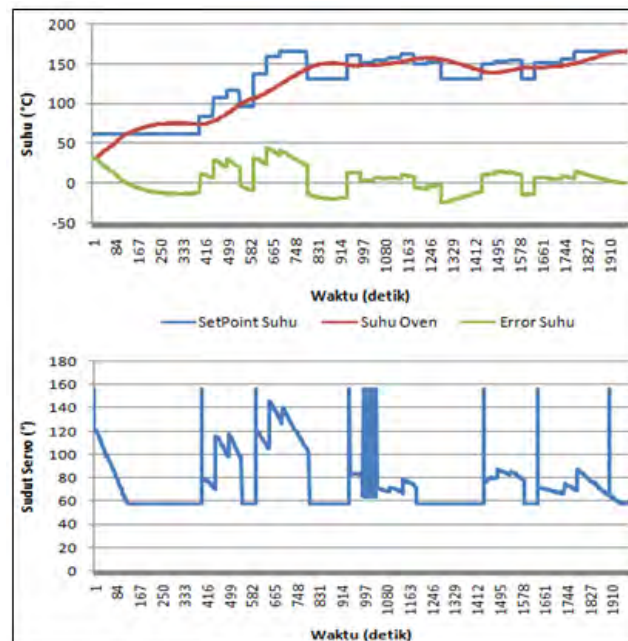
setpoint akan menjadi di atas  $150^{\circ}\text{C}$  juga ketika kondisi grayscale roti berada 1% lebih putih dari kondisi awal dan ketika lebar roti berada di kondisi sekitar 20 % lebih lebar dari kondisi awal.

Percobaan pertama, grayscale roti mulai terlihat berubah menjadi gelap dari keadaan awal secara signifikan pada detik ke 1860, sedangkan lebar roti maksimal terjadi pada detik ke 960, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil akhir roti adalah 2160 detik. Percobaan kedua, grayscale roti mulai terlihat berubah menjadi lebih gelap dari keadaan awal secara signifikan pada detik ke 1800, lebih cepat sekitar 60 detik dibandingkan percobaan pertama, sedangkan lebar roti maksimal terjadi pada detik ke 720, lebih cepat 240 detik dibandingkan percobaan pertama, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil akhir roti adalah 1980 detik, 180 detik lebih cepat dari percobaan pertama.

Gambar 4.36 dan 4.37 menunjukkan perubahan sudut servo terhadap error suhu. Sudut servo  $157^{\circ}$  menunjukkan bahwa motor servo melakukan proses penyalan api. Proses penyalan api akan terjadi ketika ada perubahan kondisi nilai selisih suhu dari dibawah  $3^{\circ}\text{C}$  menjadi diatas  $3^{\circ}\text{C}$ .

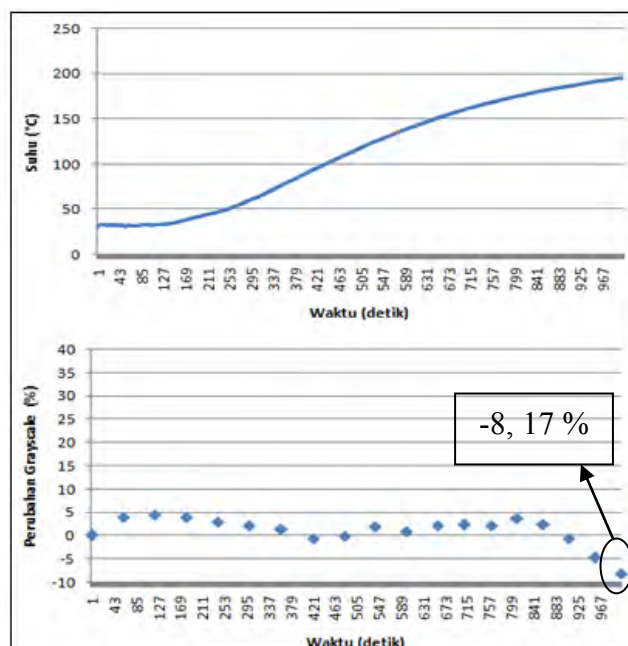


Gambar 4.36. Perubahan Sudut Servo Terhadap Error Suhu (Percobaan 1)



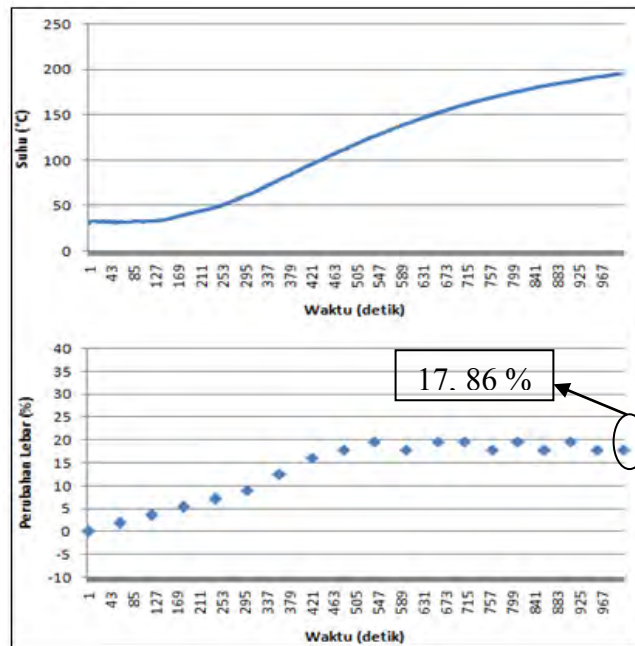
Gambar 4.37. Perubahan Sudut Servo Terhadap Error Suhu (Percobaan 2)

Percobaan ketiga memanggang tidak menggunakan kontrol suhu. Gambar 4.38 menunjukkan perubahan grayscale terhadap suhu, terlihat bahwa warna roti berubah secara signifikan lebih gelap ketika suhu berada di atas 150° C, waktu yang dibutuhkan untuk roti menjadi lebih gelap dari keadaan awal adalah sekitar 900 detik.



Gambar 4.38. Perubahan Warna Roti Terhadap Suhu (Percobaan 3)

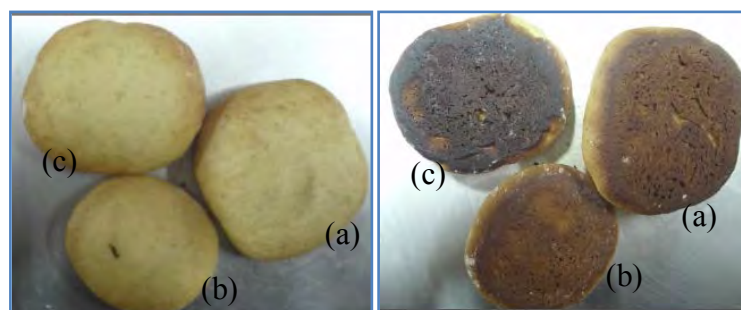




Gambar 4.39. Perubahan Lebar Roti Terhadap Suhu (Percobaan 3)

Gambar 4.39 menunjukkan perubahan lebar terhadap suhu, terlihat bahwa lebar roti mencapai keadaan maksimal pada 540 detik. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan akhir adalah 1020 detik.

Hasil akhir pemanggangan roti dapat dilihat pada Gambar 4.40. Bagian atas dari ketiga roti menunjukkan kecoklatan yang sama, jika dilihat pada grafik maka perubahan grayscale permukaan ketiga roti adalah 7% - 8% lebih gelap dari keadaan awal. Perbedaannya terdapat pada bagian bawah roti, bagian bawah roti dari hasil percobaan ketiga terlihat lebih hangus dibandingkan percobaan pertama dan kedua.



Gambar 4.40. Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Percobaan Pertama, (b) Percobaan Kedua, (c) Percobaan Ketiga

#### 4.11 Pengujian Pemanggangan Roti dengan Berat 100 g

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perbedaan hasil akhir dari pemanggangan roti ketika berat adonan 65 g dan 100 g.

##### 4.11.1 Prosedur Pengujian

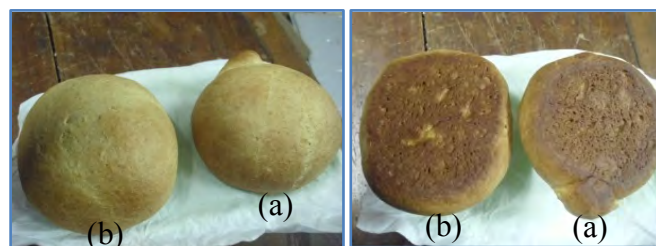
1. Mempersiapkan adonan (Gambar 4.41)
2. Melakukan proses pemanggangan roti sebanyak dua kali
3. Pengujian pertama dan kedua menggunakan kontrol suhu



Gambar 4.41. Adonan

##### 4.11.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pemanggangan dapat dilihat pada gambar 4.42, terlihat bahwa grayscale permukaan dan warna bagian bawah roti memiliki kemiripan dengan hasil pemanggangan pada roti dengan berat 65 g (Gambar 4.40). Hasil perubahan akhir grayscale, lebar roti, dan waktu pemanggangan dapat dilihat pada Tabel 4.5. dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan berat roti yang dipanggang memiliki hasil akhir yang sama.



Gambar 4.42. Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Percobaan Pertama, (b) Percobaan Kedua

Tabel 4.5 Data Hasil Pemanggangan Pengujian Roti dengan Berat 100 g

| Pemanggangan | Perubahan Grayscale (%) | Perubahan Lebar (%) | Waktu Pemanggangan (detik) |
|--------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1            | -6,46                   | 22,39               | 2454                       |
| 2            | -5,55                   | 20,59               | 1948                       |

#### **4.12 Pengujian Pemanggangan Roti dengan Berat 65 g Secara paralel**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil akhir dari setiap roti yang dipanggang secara paralel. Dari hasil pengujian akan dilihat grayscale bagian permukaan roti dan warna bagian bawah roti, hasil pengujian ini akan memberikan informasi mengenai pengaruh hasil akhir roti dari posisi adonan pada saat pemanggangan.

##### **4.12.1 Prosedur Pengujian**

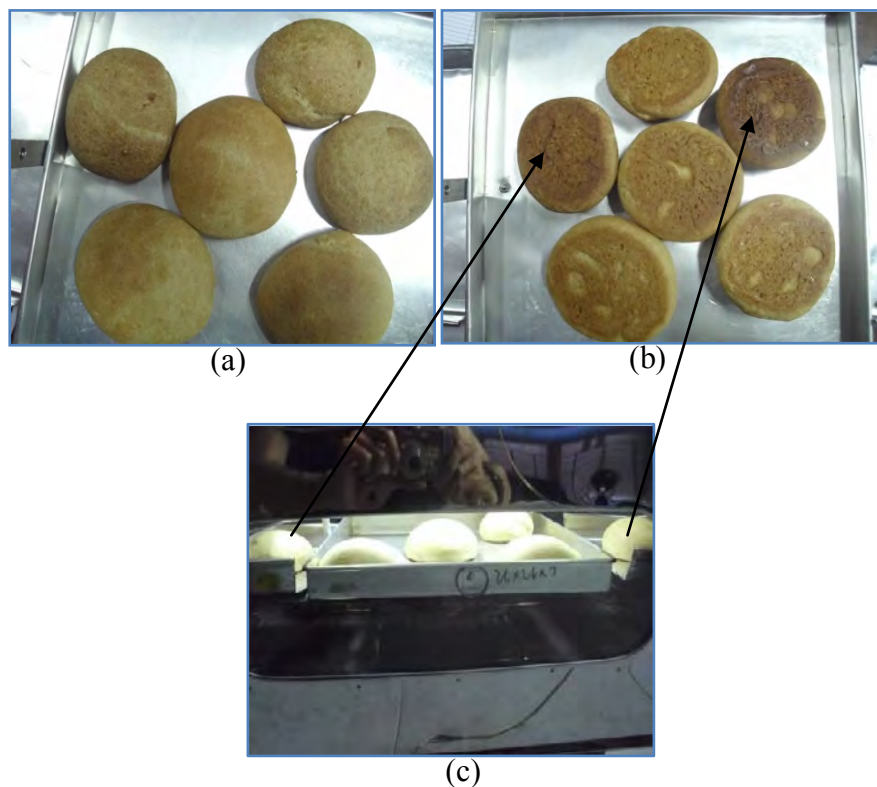
1. Mempersiapkan 6 adonan roti
2. Meletakkan adonan (Gambar 4.43)
3. Pengujian pemanggangan menggunakan kontrol suhu udara oven



Gambar 4.43. Posisi Adonan di Dalam Oven

##### **4.12.2 Hasil Pengujian dan Analisa**

Hasil pemanggangan ditunjukkan pada gambar 4.44, dari Gambar tersebut terlihat bahwa secara visual warna permukaan roti terlihat relatif sama, sedangkan warna bagian bawah roti terdapat perbedaan, ada dua roti yang memiliki warna bagian bawah roti yang lebih hangus dari roti lainnya, posisi roti tersebut berada di sisi paling kanan dan kiri dari oven. Sehingga dari pengujian ini memberikan kesimpulan bahwa kualitas roti yang digunakan sebagai sample pembacaan parameter warna dan lebar oleh kamera tidak mewakili kualitas roti yang berada di sisi paling kiri dan kanan dari oven atau perbedaan penggunaan loyang selama pemanggangan.



Gambar 4.44. Hasil Akhir Pemanggangan Roti, (a) Permukaan Roti, (b) Bagian Bawah Roti, (c) Posisi Adonan di Dalam Oven

#### 4.13 Pengujian Pemanggangan Roti Tawar yang Telah Terpanggang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui reaksi sistem ketika digunakan untuk memanggang roti tawar (roti yang ketika dipanggang tidak akan mengalami perubahan lebar).

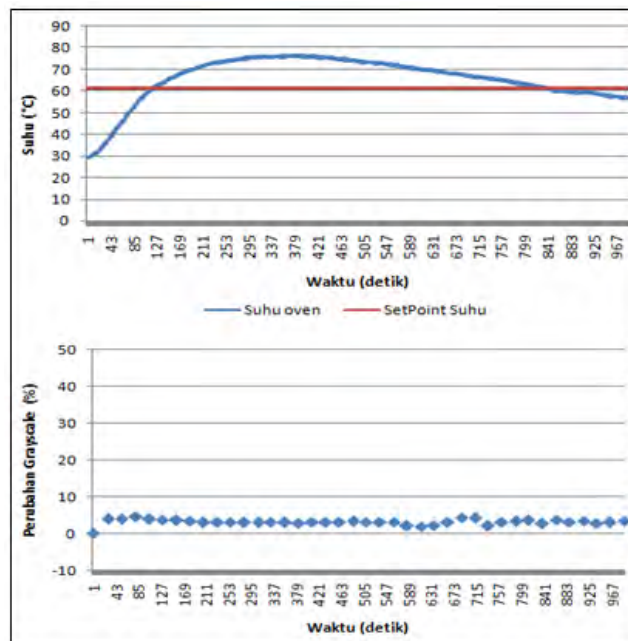
##### 4.13.1 Prosedur Pengujian

1. Mempersiapkan 1 lembar roti tawar
2. Roti tawar dipanggang selama kurang lebih 1000
3. Data perubahan grayscale, lebar roti, perubahan suhu udara oven, dan set point suhu selama pemanggangan disimpan dan selanjutnya dianalisa.

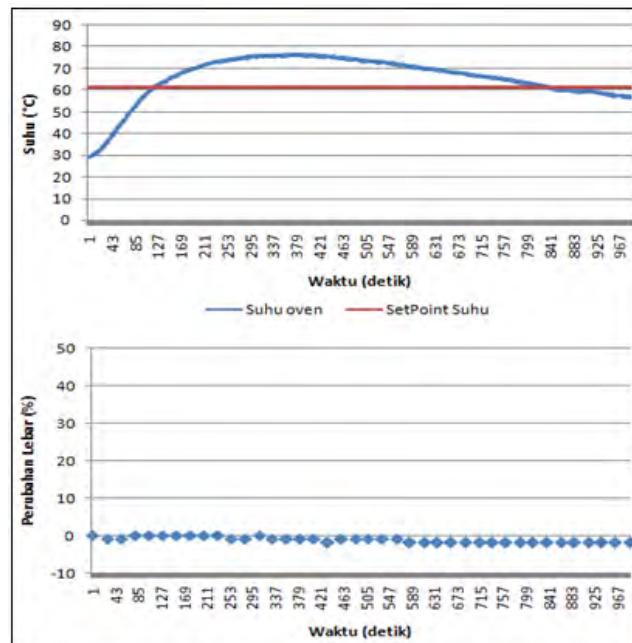
##### 4.13.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil dari pemanggangan roti dapat dilihat pada Gambar 4.45 dan Gambar 4.46. Gambar 4.45 menunjukkan perubahan grayscale selama proses

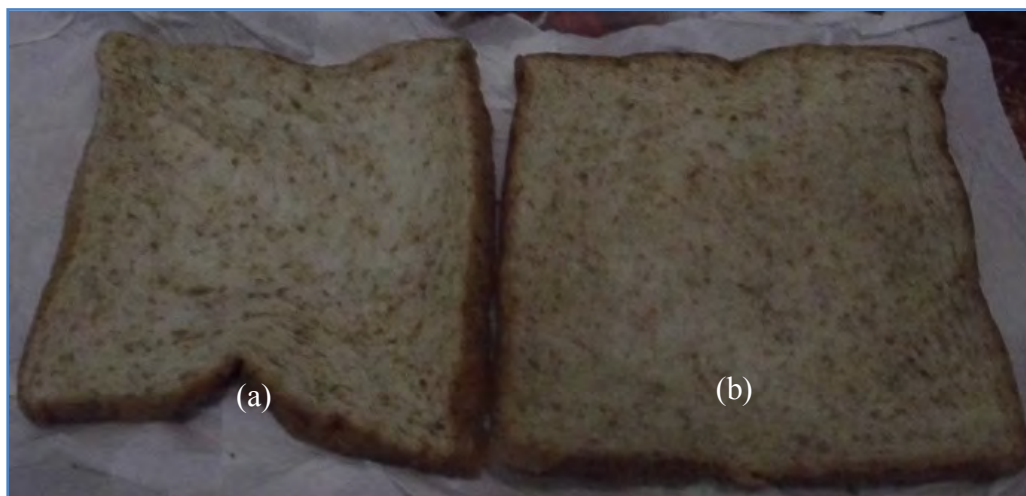
pemanggangan, terlihat bahwa selama proses pemanggangan roti tidak mengalami perubahan grayscale, hal ini terjadi karena suhu yang diterima roti selama pemanggangan diantara 30° C sampai 75° C, sedangkan syarat suhu yang harus diterima roti untuk mengalami perubahan grayscale secara signifikan adalah diatas 120° C. Suhu udara oven selama pemanggangan diantara 30° C sampai 75° C terjadi karena selama pemanggangan nilai setpoint suhu adalah 61° C, penyebab nilai setpoint berada pada nilai 61° C adalah karena tidak ada penambahan lebar pada roti selama pemanggangan (Gambar 4.46), sehingga sesuai dengan rule logika fuzzy yang digunakan (Tabel 3.1) keluaran dari logika fuzzy berada pada variabel linguistik dingin yaitu pada nilai 61° C. Hasil pengujian ini berbeda dengan hasil pengujian yang menggunakan roti yang memiliki perubahan lebar selama pemanggangan (pengujian pemanggangan roti dengan berat 65 g), pada pengujian tersebut perubahan lebar terjadi pada pemanggangan selama 800 detik, sehingga setpoint suhu berubah lebih tinggi dan diikuti oleh perubahan suhu udara oven menjadi diatas 120° C, sehingga menyebabkan proses perubahan grayscale roti terjadi.



Gambar 4.45. Perubahan Grayscale Roti Tawar Terhadap Suhu



Gambar 4.46. Perubahan Lebar Roti Tawar Terhadap Suhu



Gambar 4.47. Hasil Akhir Pemanggang Roti, (a) Hasil Roti yang Telah Dipanggang, (b) Roti tidak Dipanggang.

Gambar 4.47 menunjukkan hasil pemanggang secara fisik, jika dibandingkan dengan roti tawar yang tidak dipanggang terlihat bahwa hasil pemanggang tidak terlihat memiliki perbedaan.

#### **4.14 Pengujian Konsistensi Parameter Internal dan Eksternal dari Roti**

Pengujian ini bertujuan untuk melihat keberhasilan sistem yang telah dibuat dengan cara melihat respon dari panelis terhadap hasil akhir roti dan konsistensi dari beberapa parameter roti selama pemanggangan, parameter tersebut adalah penambahan lebar akhir roti dari keadaan awal pemanggangan, perubahan akhir grayscale roti dari keadaan awal pemanggangan, waktu akhir pemanggangan, waktu perubahan lebar roti, dan waktu perubahan grayscale roti. Sistem dikatakan berhasil jika memiliki konsistensi pada setiap parameter yang digunakan.

##### **4.14.1 Prosedur Pengujian**

1. Melakukan pemanggangan roti menggunakan sistem yang telah dibuat sampai warna 5% lebih gelap dari keadaan awal roti yaitu sebelum pemanggangan
2. Data parameter hasil pemanggangan disimpan
3. Seluruh parameter yang digunakan untuk penilaian keberhasilan sistem dianalisa.

##### **4.14.2 Hasil Pengujian dan Analisa**

Analisa keberhasilan sistem dilakukan pada parameter internal dan eksternal dari roti. Tabel 4.6 menunjukkan hasil konsistensi dari parameter eksternal yang digunakan sebagai salah satu indikator keberhasilan sistem, parameter perubahan grayscale dan lebar adalah parameter yang digunakan untuk melihat perubahan grayscale dan lebar akhir roti, waktu pemanggangan adalah waktu yang dibutuhkan roti untuk mencapai keadaan akhir pemanggangan, waktu perubahan lebar adalah waktu yang dibutuhkan roti untuk mengalami proses perubahan lebar sampai keadaan maksimal, dan waktu perubahan grayscale adalah waktu yang dibutuhkan roti untuk mengalami perubahan grayscale sampai pada kondisi akhir pemanggangan.

Dari tabel terlihat bahwa rata-rata perubahan grayscale akhir roti adalah 6,05 % lebih gelap dari saat roti masih berupa adonan, rata-rata perubahan lebar akhir roti adalah 22,91 %, rata-rata waktu pemanggangan yang dibutuhkan adalah

40,04 menit, rata-rata perubahan lebar selama pemanggangan adalah 11,97 menit, dan waktu perubahan grayscale selama pemanggangan adalah 32,3 menit.

Rata-rata waktu roti mengalami perubahan lebar menjadi lebih panjang adalah 11,97 menit, lebih cepat dibandingkan ketika proses roti mengalami perubahan grayscale yaitu 32,3 menit. Waktu perubahan lebar terlihat lebih konsisten daripada waktu yang dibutuhkan roti untuk mengalami perubahan grayscale, standart deviasi untuk waktu perubahan grayscale lebih besar dibandingkan standart deviasi untuk waktu perubahan lebar, sehingga dapat dikatakan bahwa waktu perubahan grayscale memiliki pengaruh lebih besar pada kecepatan proses pemanggangan dibandingkan waktu yang dibutuhkan roti untuk mengalami perubahan lebar.

Tabel 4.7 menunjukkan suhu oven selama terjadi perubahan parameter grayscale dan lebar dari roti. Rata-rata suhu minimal dan maksimal yang diperlukan roti untuk mencapai ukuran maksimal adalah 64,9 sampai 147,9 °C, sedangkan suhu yang diperlukan roti untuk mengalami perubahan grayscale adalah 88,5 sampai 164,8 °C. Roti akan mengalami penurunan perubahan grayscale ketika suhu rata-rata 153,9 °C.

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Parameter Eksternal Roti Selama Pemanggangan

| <b>Pemang-gangan</b> | <b>Perubahan Grayscale (%)</b> | <b>Perubahan Lebar (%)</b> | <b>Waktu Pemanggangan (menit)</b> | <b>Waktu Perubahan Lebar (menit)</b> | <b>Waktu Perubahan Grayscale (menit)</b> |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1                    | -7                             | 25                         | 36                                | 13,3                                 | 21,4                                     |
| 2                    | -7                             | 21,05                      | 33                                | 10,3                                 | 23,9                                     |
| 3                    | -5,19                          | 23,64                      | 51,0                              | 13,0                                 | 37,9                                     |
| 4                    | -5,12                          | 26,92                      | 48,9                              | 10,5                                 | 42,9                                     |
| 5                    | -7,24                          | 20,34                      | 36,3                              | 10,1                                 | 35,8                                     |
| 6                    | -5,44                          | 21,31                      | 32,9                              | 10,1                                 | 27,4                                     |
| 7                    | -6,41                          | 22,86                      | 40,4                              | 17,2                                 | 23,9                                     |
| 8                    | -6,46                          | 22,39                      | 40,9                              | 11,7                                 | 36,1                                     |
| 9                    | -5,44                          | 24,53                      | 46,8                              | 12,2                                 | 45,9                                     |
| 10                   | -5,52                          | 21,43                      | 33,7                              | 11,3                                 | 27,8                                     |
| Rata-rata            | -6,05                          | 22,91                      | 40,05                             | 11,97                                | 32,3                                     |
| Standart deviasi     | 0,838                          | 2,076                      | 6,809                             | 2,180                                | 8,5                                      |



Tabel 4.7 Data Suhu Oven Selama Terjadi Perubahan Parameter Grayscale dan Lebar

| Pemanggang       | Suhu Oven<br>Ketika Terjadi<br>Perubahan<br>Lebar (°C) |       | Suhu Oven<br>Ketika Terjadi<br>Perubahan<br>Grayscale (°C) |       | Suhu Oven<br>Ketika<br>Grayscale Roti<br>Mengalami<br>Penurunan (°C) |
|------------------|--|-------|--|-------|--|
|                  | Min  | Max   | Min  | Max   |  |
| 1                | 69   | 134   | 134  | 168   | 151  |
| 2                | 65   | 143   | 106  | 165   | 144  |
| 3                | 70   | 146   | 102  | 163   | 158  |
| 4                | 67   | 152   | 86   | 165   | 158  |
| 5                | 57   | 152   | 67   | 165   | 156  |
| 6                | 60   | 156   | 70   | 165   | 152  |
| 7                | 72   | 151   | 92   | 165   | 147  |
| 8                | 60   | 152   | 73   | 161   | 158  |
| 9                | 58   | 155   | 85   | 165   | 158  |
| 10               | 71   | 138   | 70   | 166   | 157  |
| Rata-rata        | 64,9   | 147,9 | 88,5   | 164,8 | 153,9  |
| Standart deviasi | 5,704  | 7,415 | 21,019   | 1,813 | 5,152  |

Tabel 4.8 menunjukkan hasil dari parameter internal roti yang digunakan sebagai indikator keberhasilan sistem. Selama pengujian pemanggang, aroma roti dapat dikatakan konsisten, akan tetapi pada kelembutan roti terlihat memiliki hasil tidak konsisten jika dibandingkan dengan penilaian pada aroma. Roti mengalami kekerasan pada pengujian ke 3,4, dan 9.

Tabel 4.8 Data Parameter Internal Roti

| Pemanggang       | Tanggapan Panelis |   |   |   |   |                      |   |   |   |   |
|------------------|-------------------|---|---|---|---|----------------------|---|---|---|---|
|                  | Skor Aroma Roti   |   |   |   |   | Skor Kelembutan Roti |   |   |   |   |
|                  | 5                 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5                    | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1                |                   | √ |   |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 2                |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 3                |                   |   | √ |   |   |                      |   |   |   | √ |
| 4                |                   |   | √ |   |   |                      |   |   |   | √ |
| 5                |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 6                |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 7                |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 8                |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| 9                |                   |   | √ |   |   |                      |   |   | √ |   |
| 10               |                   |   | √ |   |   |                      |   | √ |   |   |
| Rata-rata        | 3,1               |   |   |   |   | 2,5                  |   |   |   |   |
| Standart deviasi | 0,316             |   |   |   |   | 0,849                |   |   |   |   |

#### 4.15 Pengujian Perubahan Nilai Rerata Komponen R, G, B, dan Grayscale pada Roti

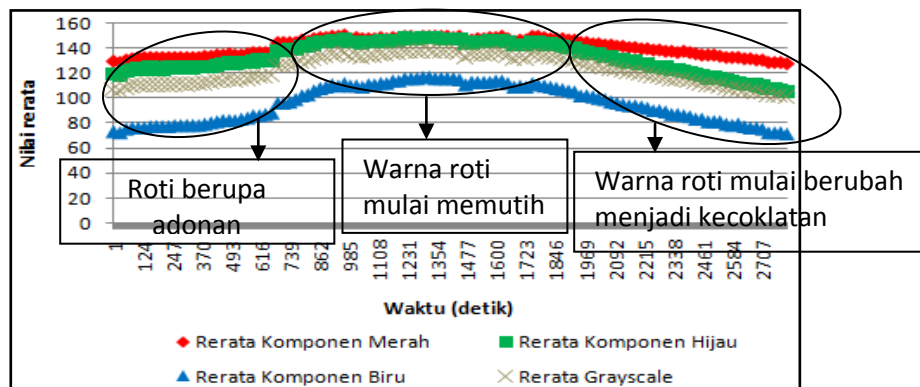
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari perubahan nilai rerata setiap komponen warna dan grayscale pada roti selama pemanggangan, dan selanjutnya menggunakan karakter grayscale selama pemanggangan sebagai keanggotaan salah satu input logika fuzzy.

##### 4.15.1 Prosedur Pengujian

1. Melakukan pemanggangan roti
2. Data rerata komponen merah, hijau, biru, dan grayscale di simpan
3. Seluruh data dianalisa.

##### 4.15.2 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.48 adalah salah satu contoh grafik proses pembacaan data komponen merah, biru, hijau dan grayscale pada roti selama pemanggangan. Terlihat dari gambar tersebut bahwa ada kenaikan nilai rerata komponen merah, komponen biru, komponen hijau, dan grayscale pada awal pemanggangan roti sampai pada pertengahan waktu pemanggangan, hal ini menunjukkan terjadinya perubahan warna menjadi lebih putih pada roti, dan setelah itu mengalami penurunan nilai rerata dari setiap komponen warna dan grayscale, hal ini menunjukkan perubahan warna menjadi lebih gelap dari sebelumnya. Proses perubahan nilai tersebut adalah proses perubahan warna dari roti selama pemanggangan, yaitu roti berubah menjadi terlihat kecoklatan.



Gambar 4.48. Nilai Rerata dari Setiap Komponen Warna dan Grayscale Selama Pemanggangan Roti

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penggunaan kontrol suhu pada sistem oven gas memberikan hasil akhir pemanggangan yang lebih baik dibandingkan ketika tidak menggunakan kontrol suhu. Pemanggangan roti tanpa menggunakan kontrol suhu membutuhkan waktu untuk mencapai hasil akhir roti adalah 1020 detik, sedangkan percobaan pemanggangan roti menggunakan kontrol suhu adalah 2160 dan 1980 detik, akan tetapi pemanggangan roti tanpa kontrol mengalami penambahan lebar roti sebesar 17.86 %, sedangkan pemanggangan roti menggunakan kontrol suhu yaitu melebihi 20 %. Bagian bawah roti dari hasil pemanggangan tanpa kontrol suhu terlihat lebih hangus dari hasil pemanggangan menggunakan kontrol suhu, dapat dikatakan bahwa kualitas hasil pemanggangan roti menggunakan kontrol suhu udara oven lebih baik dibandingkan ketika pemanggangan tidak menggunakan kontrol suhu udara oven. Hasil dari percobaan pemanggangan secara paralel menunjukkan hasil akhir yang relatif sama pada setiap roti.

#### **5.2 Saran**

Untuk mempercepat pendinginan suhu udara oven, diperlukan sistem pembuang panas. Sedangkan untuk dapat memanggang lebih dari 1 jenis roti diperlukan perancangan sistem yang dapat melakukan pengenalan jenis roti yang akan dipanggang, sehingga secara otomatis fungsi keanggotaan input dapat menyesuaikan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aborisade, dkk, (2014), "Evaluation of PID tuning methods on direct gas-fired oven", *Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4 No. 3 hal. 1-5.
- Aras, M.S.M., Ali, F. A., Hamid, S.M.S.A. and Basar, M.F.H.M. (2011), "Performances evaluation and comparison of two algorithms for fuzzy logic rice cooking system (MATLAB Fuzzy Logic Toolbox and FuzzyTech)," *Open System (ICOS)*, 2011 *IEEE*, hal. 400-405.
- Brosnan, T., and Wen Sun, D. (2004), "Improving quality inspection of food products by computer vision", *Journal of Food Engineering*, Vol. 61, hal. 3-16.
- Fitriyani. (2013), "Eksperimen Pembuatan Roti Tawar Dengan Menggunakan Sari Bayam (*Amaranthus SP*)," *food Science and Culinary Education Journal*, ISSN. 2252-6587, hal. 16–23.
- Franco P., dkk, (2006), "Development of a computer vision system to measure the color of potati chips", Science Direct, *Food Research international*, Vol. 39, hal. 1092-1098.
- Hadiyanto, and Boxtel, A. V. (2011), "Parameter estimation in bread baking model," *Reaktor*. Vol. 13, hal. 201-210.
- Hadiyanto, Asselman, A., Straten, G. V., Boom, R. M., Esveld, D.C., and Boxtel, A. V. (2007), "Quallity prediction of bakery products in the initial phase of process design," *ScienceDirect, Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol. 8, hal. 285-298.
- Ibrahim, U. K., Mohd Salleh, R., and Zhou, W. (2013), "The Effect of Oven Surface on Bread Colour Development during Baking Process," *IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*. Vol. 978, No. 1, hal. 453-458.

- Iqwandy, D. (2014), *Karakterisasi Frekuensi Resoansi Sensor Quartz Crystal Microbalance Terhadap Media Cairan*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Justicia, A., Liviawaty, E., and Hamdani, H. (2012), “Fortifikasi Tepung Tulang Nila Merah Sebagai Sumber Kalsium Terhadap Tingkat Kesukaan Roti Tawar,” *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. Vol. 3, No. 4, hal. 17-27.
- Levine, L., Huang, V. T., and Saguy, I. (1990), “Use of Computer Vision for Real Time Estimation of Volume Increase During Microwave Baking”, *Cereal Chem*, Vol. 67, No. 1, hal. 104-105.
- Mitsuishi, T. (2012), “Continuity of approximate reasoning using center of sum defuzzification method,” *MIPRO, 2012 IEEE*, hal. 991-994.
- Nicolas, V., Salagnac, P., Glouannec, P., Ploteau, J. P., Jury, V., and Boillereaux, L. (2014), “Modelling heat and mass transfer in deformable porous media: Application to bread baking,” *Journal of Food Engineering*, vol. 130, hal. 23–35.
- Patil, S.R., Chavan, R., Shinde, A., Joy, T., Wakale, J. N. (2011), “Intelligent Cooking Providing Automatic Time and Temperature Setting Using Image Processing With Wide Range of Recipes for Microwave Ovens”, *IJISME* ISSN: 2319-6386, Vol. 2, Issue-1.
- Paquet-Durand, O., Solle, D., Schirmer, M., Becker, T., and Hitzmann, B. (2012), “Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 111, hal. 425-431.
- Purlis, E. (2014), “Optimal design of bread baking: Numerical investigation on combined convective and infrared heating,” *Journal of Food Engineering*. Vol. 137, hal. 39–50.
- Purlis, E, & Salvadori, V, O. (2009), “Modelling the browning of bread during baking”, *Food Research International*, Vol. 42, hal. 865–870.
- Ramaraj, E. and Rajan, S. A. (2010), “Median Filter Using Open Multiprocessing in Agriculture,” *Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE International Conference*, hal. 42-45.

- Satyaninhtyas, E. and Estiasih, T. (2014), "Roti Tawar Laktogenik, Perangsang ASI,Berbasis Kearifan Lokal (L.) Merr," *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, Vol. 2, No. 1, hal. 121-131.
- Schoeman, R. M. (2011), "Embedded PI-bang-bang curing oven controller," *AFRICON, 2011 IEEE*, hal. 1-5.
- Shi, Y., and Sen, P.C. (2000), "A new defuzzification method for fuzzy control of power converters," *Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE*, Vol. 2, hal. 1202-1209.
- Singh, J. and Kaur, M. (2012), "Visual Inspection of Bakery Products by Texture Analysis using Image Processing Techniques," *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 2, No. 4, hal. 526-528.
- Tao, Y., and Hu, Z. (2010), "Algorithm of baking tobacco control decision system based on fuzzy control and lagrange interpolation," *Industrial Mechatrinics and Automation (ICIMA), 2010 IEEE*, Vol. 1, pp. 529-532, 30-31 May 2010.
- Therdthai, N. Zhou, W. and Adamczak, T. (2002), "Optimisation of the temperature profile in bread baking," *Journal of Food Engineering*, vol. 55, hal. 41-48.
- Zhang, J., and Datta, A.K. (2006), "Mathematical modelling of bread baking," *Science Direct, Journal of Food Engineering*, Vol. 75, hal. 78-89.
- Zheng, J., Wang, Z.J., Ziraknejad, N., and Saxena, P. (2014), "Automatic region of interest extraction in food baking images," *IEEE China Summit & International Conference on Si gnal and Information Processing (ChinaSIP)*, hal. 291-295.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Ali Rizal Chaidir** dilahirkan di Banyuwangi, 8 Juli 1989. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Ridwan dan Ibu Chairoti. Penulis memulai pendidikan di TK Dharma Wanita, selanjutnya MI Islamiyah Wongsorejo-Banyuwangi, lalu melanjutkan di SLTP Negeri 01 Banyuwangi. Penulis menempuh jenjang pendidikan Menengah di SMK Negeri 01 Glagah-Banyuwangi. Pada tahun 2008 penulis diterima di Program S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember dan menyelesaikan studi tahap sarjana pada tahun 2012. Setelah menyelesaikan studi di tahap sarjana, penulis meneruskan pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan memilih bidang keahlian Elektronika Industri.

e-mail : alirizalchaidir@gmail.com